

Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse
Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen und
Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren

von Stephanie Anna Geischeder, geb. Olschewski

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse
Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen und
Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren

von Stephanie Anna Geischer, geb. Olschewski

aus Eichstätt

München 2017

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und
Tierhaltung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von:

Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael H. Erhard

Mitbetreuung durch:

Priv.-Doz. Dr. Sven Reese

Dr. Elke Rauch

Angefertigt an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft,

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Mentor: Dr. Bernhard Haidn

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, PhD

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael H. Erhard

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Holm Zerbe

Tag der Promotion: 29. Juli 2017

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG.....	1
II.	STAND DES WISSENS	2
1.	Stressparameter und deren Erfassung	2
1.1.	Bedeutung von Stress für das Tier	2
1.2.	Kortisol	4
1.3.	Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität	9
1.4.	Atemfrequenz	15
1.5.	Körpertemperatur	16
1.6.	Leistung.....	19
1.7.	Verhalten	20
2.	Thermoregulation Rind	22
3.	Hitzestress	32
3.1.	Definition Hitzestress.....	32
3.2.	Hitzestress – Indikatoren	34
3.3.	Temperature – Humidity – Index	35
3.4.	Folgen von Hitzestress	40
3.5.	Maßnahmen zur Verminderung von Hitzestress	45
4.	Stallklima.....	50
III.	ZIEL DER ARBEIT.....	53
IV.	TIERE, MATERIAL UND METHODEN	55
1.	Aufbau der Untersuchung	55
2.	Tiere.....	55
3.	Stallhülle und zusätzliche Technik	56
3.1.	Stallhülle.....	56
3.2.	Ventilatoren	58
4.	Parameter zur Ermittlung der Hitzestressbelastung	60
4.1.	Physiologische Parameter.....	60
4.1.1.	Atemfrequenz	60
4.1.2.	Körpertemperatur	60
4.1.3.	Herzfrequenz.....	60

4.1.4.	Kot – Kortisol	62
4.2.	Leistungsparameter.....	63
4.2.1.	Milchleistung.....	63
4.2.2.	Futtermaufnahme	63
4.3.	Verhaltensparameter	64
4.3.1.	Liegeverhalten	64
4.3.2.	Videoaufzeichnungen als Referenz	65
4.4.	Stall- und Außenklima	66
4.4.1.	Stallklima	66
4.4.2.	Außenklima	68
5.	Datenerfassung und Auswertung	68
5.1.	Datenfluss	68
5.2.	Statistische Auswertung	69
V.	ERGEBNISSE	71
1.	Klima.....	71
1.1.	Lufttemperatur	71
1.2.	Relative Luftfeuchtigkeit	74
1.3.	Temperature-Humidity-Index (THI).....	78
1.4.	Globalstrahlung	83
1.5.	Strömungssensoren	84
2.	Tierparameter	85
2.1.	Physiologische Parameter.....	85
2.1.1.	Atemfrequenz	85
2.1.2.	Körpertemperatur	87
2.1.3.	Herzfrequenz	89
2.1.4.	Konzentration Kotkortisolmetaboliten	91
2.2.	Leistungs-Parameter	94
2.2.1.	Milchleistung.....	94
2.2.2.	Grundfuttermaufnahme	95
2.3.	Verhaltens-Parameter	98
VI.	DISKUSSION	101
1.	Klima.....	101

2.	Physiologische Parameter.....	104
2.1.	Atemfrequenz	104
2.2.	Körpertemperatur	105
2.3.	Herzfrequenz	106
2.4.	Kotkortisol-Konzentration	107
3.	Leistungs – Parameter	108
3.1.	Milchleistung.....	108
3.2.	Grundfutteraufnahme	109
4.	Verhaltensparameter	111
5.	Schlussfolgerung	112
VII.	ZUSAMMENFASSUNG	114
VIII.	SUMMARY	116
IX.	LITERATURVERZEICHNIS	118
X.	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG / DECLARATION OATH....	129
XI.	DANKSAGUNG	130

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Endokrine Stressreaktion (nach CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013).....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 2: Zonen der Thermoregulation bei Haustieren (nach BIANCA, 1968 und BLUM, 2003).....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3: Wärmeproduktion bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Leistung und der Lebendmasse (BRADE, 2013, basierend auf Daten von JENTSCH et al., 2001).....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 4: Möglichkeiten der Wärmeabgabe beim Rind (BRADE, 2013) ...</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 5: Veränderung der Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Stalltemperatur (nach STRØM und FEENSTRA, 1980 und SANKER, 2012)</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 6: Temperatur – Luftfeuchte Index (THI) „alt“ (nach THOM, 1958 und 1959).....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 7: Temperatur - Luftfeuchte Index (THI) „neu“ (nach COLLIER et al., 2012).....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 8: Innenansicht AMS-Stall Grub, Blick Richtung Nord-Osten</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 9: Innenansicht des AMS-Stall Grub, Blick Richtung Süd-Westen</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 10: Ventilatoren der Firma Ziehl-Abegg im AMS-Stall der Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub.....</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 11: Anordnung und Strömungsrichtung der Ventilatoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 12: Fokustier mit Polar Herzfrequenzmessgerät RS 800.....</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 13: Pedometer am Vorderbein einer Kuh im AMS-Stall</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 14: Anordnung der Videokameras (rot) und deren Erfassungsfeld (blau) in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 15: Anordnung der Strömungsmesssensoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 16: Übersicht Datenerfassung und Datenfluss</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 17: Boxplot mit berechneten Kenngrößen</i>	<i>70</i>
<i>Abbildung 18: Temperatur und Streuwerte der Stallluft während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>71</i>
<i>Abbildung 19: Tagesverlauf der Lufttemperatur im Stall während der je drei</i>	

<i>Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>72</i>
<i>Abbildung 20: Temperatur und Streuwerte der Luft im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>73</i>
<i>Abbildung 21: Tagesverlauf der Lufttemperatur im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>74</i>
<i>Abbildung 22: Relative Feuchte und Streuwerte der Stallluft während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>75</i>
<i>Abbildung 23: Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung 24: Relative Feuchte und Streuwerte der Luft im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung 25: Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung 26: THI und Streuwerte im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>79</i>
<i>Abbildung 27: Tagesverlauf des THI im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....</i>	<i>80</i>

Abbildung 28: THI und Streuwerte im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015	81
Abbildung 29: Tagesverlauf des THI im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015	82
Abbildung 30: Vergleich THI im Stall und im Außenbereich im Jahr 2014 unter Thermoneutralen Bedingungen und Hitzestressbedingungen ohne Ventilatoreinsatz.....	83
Abbildung 31: Tagessumme und Streuwerte der Globalstrahlung im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015.....	84
Abbildung 32: Mittlere Luftströmung und Streuwerte im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant, $p < 0,05$)	85
Abbildung 33: Mittlere Atemfrequenz und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b, c = signifikant; $p < 0,05$)	86
Abbildung 34: Mittlere Körpertemperatur und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$; ns = nicht signifikant).....	88
Abbildung 35: Mittlere Herzfrequenz und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 12$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b, c = signifikant; $p < 0,05$)	90
Abbildung 36: Mittler Menge und Streuwerte der fäkalen Kortisolmetaboliten	

(FCM) der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$).....	92
Abbildung 37: Mittlere tägliche Milchleistung und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$).....	94
Abbildung 38: Mittlere tägliche Trockenmasseaufnahme und Streuwerte des Grundfutters der Fokuskühe ($n = 24$) während der drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (ns = nicht signifikant)	96
Abbildung 39: Anteil und Streuwerte der tagsüber (05:00 bis 22:00 Uhr) von den Fokuskühen ($n = 24$) aufgenommenen Grundfutter-Frischmasse im Jahr 2014 (ns = nicht signifikant).....	98
Abbildung 40: Mittlere tägliche Liegezeit und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (ns = nicht signifikant)	99

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Angaben zu mittleren Basalkortisolkonzentrationen im Blut des Rindes (nach FEIST, 2004).....</i>	<i>7</i>
<i>Tabelle 2: Angaben zur Basalkonzentration von Kortisolmetaboliten im Kot von Rindern.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 3: Übersicht der wichtigsten Parameter der Herzfrequenz-variabilität (nach HAGEN et al., 2005 und TOBER et al., 2014).....</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 4: Angaben zu täglichen Liegezeiten bei Kühen in der Literatur.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 5: Einflussgrößen auf den Wärmetransport zwischen Tier und Umwelt (nach BLUM, 2003)</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 6: Angaben zu den Grenzen der thermoneutralen Zone bei Milchkühen in der Literatur</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 7: Verschieden Formeln zur Berechnung des THI (nach DIKMEN und HANSEN, 2009)</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 8: Folgen von Hitzestress in Abhängigkeit der Belastungsintensität (nach COLLIER et al., 2012)</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 9: Spearman Korrelation des THI im Stall mit weiteren Klimaparametern.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 10: Spearman Korrelation der Atemfrequenz mit den Klimaparametern</i>	<i>86</i>
<i>Tabelle 11: Spearman Korrelation der Körpertemperatur mit den Klimaparametern.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 12: Spearman Korrelation der Herzfrequenz mit den Klimaparametern</i>	<i>91</i>
<i>Tabelle 13: Spearman Korrelation der Kortisolmetaboliten im Kot mit den Klimaparametern des Vortages.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabelle 14: Spearman Korrelation der Kortisolmetaboliten im Kot mit weiteren, 12 Stunden zuvor erfassten, physiologischen Parametern</i>	<i>93</i>
<i>Tabelle 15: Spearman Korrelation der täglichen Milchleistung mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)</i>	<i>95</i>
<i>Tabelle 16: Spearman Korrelation der täglichen Grundfutteraufnahme mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 17: Spearman Korrelation der täglichen Liegezeit mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)</i>	<i>100</i>

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
AMS	Automatisches Melksystem
BGHI	Black-Globe-Humidity Index
bpm	beats per minute
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CRH	Corticotropin-Releasing Hormon
csv	comma separated values
d.h.	das heißt
EC	electronical commutation
EKG	Elektrokardiogramm
etc.	et cetera
FCM	fäkaler Kortisolmetabolit
FL	Frühlaktation
FM	Frischmasse
HRV	Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability)
HSm	Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz
HSo	Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz
HSP	Hitzechutzprotein
Hz	Herz
kcal	Kilokalorie
kcal/d	Kilokalorien pro Tag
kg/d	Kilogramm pro Tag
kWh/m ²	Kilowattstunde pro Quadratmeter
l	Liter
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
LT	Laktationstag
ML	mittleres Laktationsstadium
ml	Milliliter
m/s	Meter pro Sekunde
MS	Microsoft
n	Anzahl
ng	Nanogramm
ng/ml	Nanogramm pro Milliliter

ns	nicht signifikant
PMR	Teil-Misch-Ration (partly mixed ration)
RFID	radio frequency identification
RH	relative Luftfeuchte
SL	Spätlaktation
T	Lufttemperatur
T _{bg}	Black-Globe Temperatur
T _{db}	dry bulb Temperatur
T _{dp}	Dew-Point Temperatur
T _{wb}	wet bulb Temperatur
THI	Temperature-Humidity Index
TM	Trockenmasse
TN	Thermoneutrale Phase
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
VP	Vasopressin
W/kg	Watt pro Kilogramm
μ	Mü / Mikro
ρ	rho (Korrelationskoeffizient nach Spearman)
\$	(US-) Dollar
11,17–DOA	11,17 Dioxandrostenon

I. EINLEITUNG

Das Wohlbefinden der Tiere spielt in der heutigen Zeit in unserer Gesellschaft eine immer größere Rolle. Einer europäischen Umfrage zur Einstellung der Bürger zum Tierschutz in der Lebensmittelkette zufolge halten Bürger den Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere für wichtig (ZÜHLSDORF et al., 2016). Gerade Verbraucher tendieren immer stärker dazu das Tierwohl (im Englischen „animal welfare“) in ihre Kaufentscheidungen einfließen zu lassen, obwohl sie in der breiten Masse noch nicht bereit sind, dafür zu zahlen (RUSHEN et al., 2008).

Vor diesem Hintergrund muss auch die Hitzestressproblematik bei Rindern und im speziellen bei Milchkühen betrachtet werden. Da Rinder relativ kältetolerant, aber hitzeempfindlich sind, wird ihr Wohlbefinden während der Sommermonate immer wieder eingeschränkt, da in den letzten Jahren auch in unseren Breitengraden vermehrt Extremsituationen zu beobachten waren (KLIMABERICHT BAYERN, 2012). Diese Folgen der Klimaerwärmung werden in den kommenden Jahren noch häufiger anzutreffen sein, da Experten für Deutschland bis zum Jahr 2055 einen weiteren Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um bis zu 2,4 K erwarten (WERNER und GERSTENGARBE, 2007) und davon ausgehen, dass die Häufigkeit der Sommertage mit Maximaltemperaturen über 25 °C und der heißen Tage mit mehr als 30 °C zunehmen werden (KLIMABERICHT BAYERN, 2012). Dies bedeutet nicht nur für uns Menschen eine zusätzliche Belastung, sondern auch für die wärmesensiblen Kühe. Gerade vor dem Hintergrund der ständig ansteigenden Milchleistung wird sich dieses Problem für die Kühe zudem noch verschärfen.

Daher muss dieses Problem näher beleuchtet werden. Zum einen angesichts steigender Verluste in der Landwirtschaft während der Sommermonate (ST-PIERRE et al., 2003; DUSSERT und PIRON, 2012), verbunden mit fehlendem Wissen über die Entstehung von Hitzestress und dem Einsatz geeigneter Maßnahmen zur Vermeidung von diesem. Zum anderen auch, um den Forderungen des Tierschutzgesetzes zu entsprechen, das Leben und das Wohlbefinden der Tiere zu schützen und die Rinder somit vor Hitzestress zu bewahren beziehungsweise diesen zu reduzieren.

II. STAND DES WISSENS

1. Stressparameter und deren Erfassung

Da Stress meist als eine Belastung für das Tier angesehen wird, spielt die Darstellung beziehungsweise Messung einer Stressbelastung in der heutigen Tierwohlforschung eine große Rolle und soll im Folgenden näher betrachtet werden.

1.1. Bedeutung von Stress für das Tier

Stress ist definiert als spezifisch-individuelles Reaktionsmuster eines Organismus auf umweltassoziierte Stimuli, die zur Störung des physiologischen Gleichgewichtes führen (KAUFMANN und THUN, 1998; MÖSTL und PALME, 2002; RÜTZ, 2010; CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Die Anpassungsfähigkeit eines Individuums an seine Umwelt wird somit überschritten (BROOM und JOHNSON, 1993). SELYE (1936) definierte Stress als die unspezifische Reaktion eines Körpers auf jede Anforderung, die an ihn gestellt wird.

Die beim Auftreten von Stress vorkommenden Störfaktoren werden Stressoren genannt (KAUFMANN und THUN, 1998, CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Physischer Stress kann beispielsweise durch Stressoren wie Durst, Hunger, Erschöpfung oder extreme Temperaturen entstehen, während psychischer Stress durch Stressoren wie Handling, Bedrängung, Konfrontation mit Unbekanntem oder ähnlichem verursacht werden kann (RÜTZ, 2010).

Die Vorgänge, die, ausgelöst durch einen Stressor, in einem Individuum ablaufen, werden Stressreaktion genannt. Die Intensität einer solchen Stressreaktion wird zum einen von der Art des Stressors und zum anderen von der individuellen Wahrnehmung bestimmt (PALME, 2012; FIEGUTH et al., 2013). Somit löst die Wahrnehmung einer Bedrohung durch das Tier eine Stressreaktion aus, nicht die Bedrohung selbst (RUSHEN et al., 2008). Das Gehirn hat dabei die zentrale Aufgabe, Stressoren und die entsprechenden Reaktionen darauf zu verbinden. Solche Reaktionen können sein: Verhaltensänderungen, Änderungen des Immunsystems sowie die Aktivierung des neuroendokrinen Systems (Hypothalamus – Hypophy-

se – Nebenniere) und des autonomen Nervensystems (DANTZER, 1993; RUSHEN et al., 2008; PALME, 2012). Die spezifische Stressreaktion hängt dabei von den angeborenen und erworbenen Eigenschaften eines Individuums, seinen bisherigen Erfahrungen mit dem Stressor und den Eigenschaften des Stressors ab (JENSEN et al., 1996). Das Modell nach MOBERG (1985) gibt drei Schlüsselkomponenten der Stressreaktion an:

1. Das Erkennen eines Stressors,
2. Die biologische Abwehr des Stressors und
3. Die Langzeitfolgen der Abwehrreaktion eines Tieres, da deren Ursachen und Folgen die höchste Relevanz zur Bestimmung des Wohlbefindens haben.

Doch nicht alle Stimuli, die das innere Gleichgewicht der Tiere stören sind schlecht, weshalb gute und schlechte Stressoren unterschieden werden (DANTZER, 1993; RUSHEN et al., 2008; PALME, 2012). Stress lässt sich daher in zwei verschiedene Arten einteilen, den **Eustress**, der sich positiv auf ein Individuum auswirkt und dessen Anpassungsfähigkeit erhöht und den **Distress**, der die Anpassungsfähigkeit mindert und zu einer Reduzierung der Abwehrmechanismen führt (DANTZER, 1993). VAN LAER et al. (2014) unterscheiden zudem zwischen Stress und Unbehagen, das lange bevor Anzeichen von Stress erkennbar sind, auftreten kann.

Besteht Stress über einen zu langen Zeitraum, kann dies schädliche Einflüsse auf den Organismus haben, was sich in geschwächten biologischen Funktionen, wie der Reproduktion oder dem Wachstum zeigt (RUSHEN et al., 2008; PALME, 2012). So kann Stress auf zwei Arten das Immunsystem beeinflussen. Akuter Stress, der nur für eine kurze Zeitspanne auftritt, wirkt immunstimulierend, während chronischer Stress, der wiederholt oder über einen längeren Zeitraum auftritt, immunsuppressiv sein kann (CAROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013).

Obwohl Stress mehr ist, als nur das Gegenteil von Wohlbefinden, spielt das Auftreten von Stress bei Tieren eine entscheidende Rolle in den „Welfare“ – Konzepten (DANTZER, 1993). Die Abwesenheit von Stress dient hier als potentieller Indikator für das Tierwohl. Da es jedoch, wie oben ge-

sehen, keine Standarddefinition von Stress gibt, fehlt auch ein geeignetes biochemisches Prüfsystem zur Messung von Stress (MÖSTL und PALME, 2002, LEXEN et al., 2008). Somit ist die Unterscheidung zwischen der Reaktion selbst und den biologischen Folgen der Reaktion wichtig zur Bestimmung des Wohlbefindens (RUSHEN et al., 2008).

Zur Analyse von Stress können neben der bereits gut etablierten Verhaltensanalyse auch physiologische Faktoren genutzt werden, wie Stresshormone, biochemische Blutparameter, bioakustische Parameter oder die Messung der Herzfrequenz (MOHR et al., 2002).

1.2. Kortisol

Bei einer akuten Stressreaktion spiegelt eine erhöhte Plasmakonzentration an Glukokortikoiden die Wirkung eines Stressors auf das Tier wieder und eignet sich daher gut zur Bestimmung einer Stressbelastung für das Tier (JENSEN et al., 1996).

Die Produktion des Glukokortikoids Kortisol beginnt im Hypothalamus mit der Freisetzung des Corticotropin-Releasing Hormons (CRH) und von Vasopressin (VP) aus den Neuronen der paraventriculären Kerne des Hypothalamus (Abbildung 1). Beide können unabhängig voneinander in der Hypophyse die Bildung und die Freisetzung des Peptidhormons ACTH (Adrenocorticotropes Hormon) aus dem Hypophysenvorderlappen stimulieren. ACTH stimuliert die Bildung und Sekretion von Kortikosteroiden (Mineralokortikoide, Glukokortikoide, Androgene und Estrogene) aus der Nebennierenrinde. Gesteuert wird der ganze Mechanismus über ein negatives Feedback System am Hypothalamus (SCHOPFER, 2002; FEIST, 2004; RUSHEN et al., 2008, CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Im Blut sind Glukokortikoide zu 90 % an Proteine (Transcortin, Albumin) gebunden und nur 10 % zirkulieren frei. Diese Proteinbindung ermöglicht eine Pufferung rascher Veränderungen des Kortisolspiegels im Blut und verhindert so eine schnelle Inaktivierung der Steroide (SCHOPFER, 2002). Die Inaktivierung und der Abbau von Glukokortikoiden erfolgt enzymatisch vor allem in der Leber, der Niere und der Speicheldrüse. Die Halbwertszeit im Plasma liegt unter zwei Stunden (FEIST, 2004). Durch eine Metabolisierung wird die Wasserlöslichkeit der Kortikosteroide erhöht

und die konjugierten Kortisolmetaboliten können über den Harn ausgeschieden werden. Unkonjugierte Kortisolmetabolite werden über den Kot ausgeschieden. Zudem kann freies Kortisol aufgrund seiner hohen Lipidlöslichkeit und seiner geringen Molekülgröße passiv in Zellen diffundieren, wodurch es auch in Milch und Speichel zu finden ist (SCHOPFER, 2002).

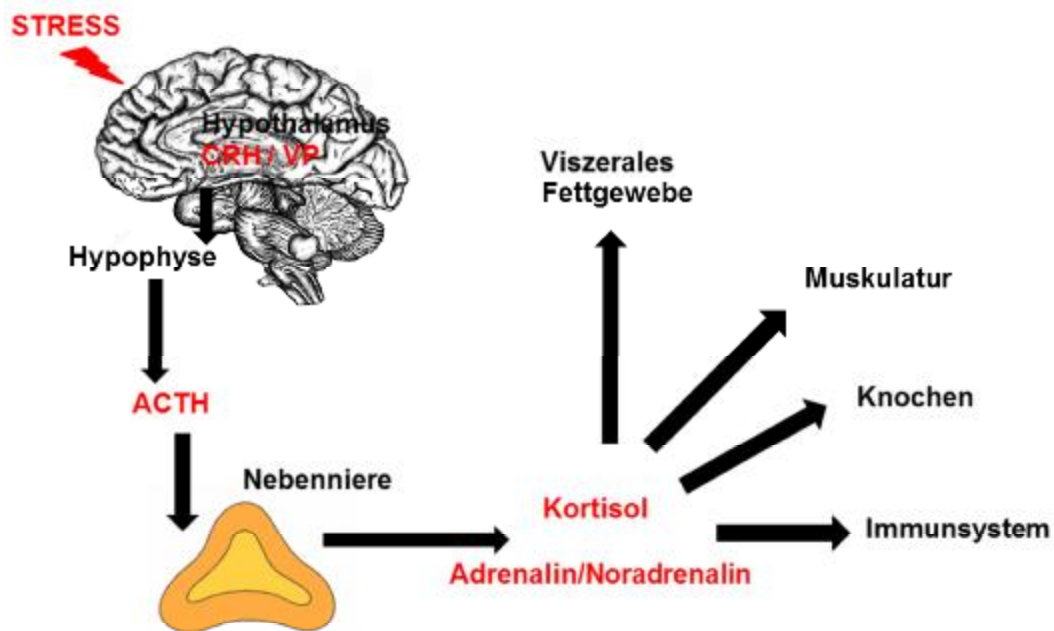


Abbildung 1: Endokrine Stressreaktion (nach CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013)

Kortisol, als Kortikosteroid, ist ein kataboles Hormon und beeinflusst durch sein breites Wirkspektrum sowohl den Kohlehydrat-, als auch den Protein- und den Fettstoffwechsel (FEIST, 2004; CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Sein Haupteffekt ist eine Erhöhung der Glukosekonzentration über eine Vielzahl an Mechanismen (RUSHEN et al., 2008; CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). So bedingt Kortisol eine Erhöhung des Proteinabbaus, während gleichzeitig die Proteinsynthese in den peripheren Geweben erniedrigt ist. Dies führt zu einer erhöhten Aminosäurekonzentration im Blut und somit einer höheren Verfügbarkeit in der Leber für die Glukoneogenese, wodurch die Blutglukose auch bei längerer Belastung konstant bleibt (MÖSTL und PALME, 2002; FEIST, 2004; CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Zudem werden die Lipiddepots des

Körpers mobilisiert, was zu einer Erhöhung der freien Fettsäuren führt, die in der Leber ebenfalls wieder zur Glukoneogenese zur Verfügung stehen (FEIST, 2004; CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Kortisol unterstützt auch die primäre Abwehrreaktion durch Erhöhung der Synthese und Freisetzung von Katecholaminen (wie Adrenalin und Noradrenalin), also weiteren Stresshormonen aus der Nebenniere, die zur Regulation aller physiologischen Prozesse bei einer „Fight or Flight“ – Reaktion nötig sind, wie einer Erhöhung der Herzfrequenz oder der Glukoseproduktion durch die Leber (CARROLL und BURDICK SANCHEZ, 2013). Einen negativen Einfluss hat eine erhöhte Kortisolkonzentration im Plasma hingegen auf das Immunsystem, das supprimiert wird. Dies bedingt eine erhöhte Infektanfälligkeit sowie eine Unterdrückung der Ausreifung von Tertiärfollikeln (MÖSTL und PALME, 2002; FEIST, 2004).

Beim Rind ist das Verhältnis der Glukokortikoide Kortikosteron zu Kortison annähernd gleich, wobei Kortisol das wichtigste Glukokortikoid im Blut und in der Milch ist. Jedoch weist die Kortisolkonzentration im Blut eine intra-spezifische Variabilität sowie eine zirkadiane Rhythmik auf. Die höchsten Werte treten zwischen 03:00 und 05:00 Uhr auf, mit einem steilen Anstieg während des dunkel-hell Wechsels. Die tiefsten Werte sind zwischen 17:00 und 20:00 Uhr zu finden, mit einer kontinuierlichen Abnahme der Konzentration (MÖSTL und PALME, 2002; FEIST, 2004; RUSHEN et al., 2008). Bei Schmerz, Angst oder Krankheit entfällt die zirkadiane Tagesrhythmik (FEIST, 2004). Die Basalkortisolkonzentration im Blut bei adulten Rindern und jungen Kälbern liegt in der Regel zwischen 2 – 5 ng/ml, kann dabei aber erheblich schwanken, wie die Literaturangaben in Tabelle 1 zeigen (FEIST, 2004; RUSHEN et al., 2008). Bei den Basal- und Peakwerten bestehen große Unterschiede zwischen den Tieren, so dass bei Untersuchungen eine große Anzahl von Proben nötig ist oder jedes Tier einzeln betrachtet werden sollte (LEXEN et al., 2008). Zudem ist zu beachten, dass die Kortisolkonzentration in den Sommermonaten höher liegt als während des restlichen Jahres und kein typischer Tag-Nacht Rhythmus mehr erkennbar ist (KECK et al., 2004).

Um eine kurzfristige Stressbelastung zu erfassen, ist ein enges Intervall an Proben nötig, da die Plasmakonzentration von Kortisol bei Untersu-

chungen ihren Peak ca. 30 – 90 min nach einer ACTH – Injektion erreichte und nach etwa 150 – 300 min wieder auf dem Ausgangswert lag (RUSHEN et al., 2008). So kann beim Enthornen oder während des Transportes die Kortisolkonzentration im Plasma innerhalb von 20 – 45 min auf 12 – 40 ng/ml ansteigen, aber innerhalb einer Stunde wieder auf den Basalwert zurückkehren. Zudem ist zu beachten, dass Änderungen der Kortisolkonzentration im Plasma nicht nur von der CRH- bzw. ACTH-Sekretion abhängen, sondern auch von anderen Hormonen, wie Vasopressin (RUSHEN et al., 2008).

Tabelle 1: Angaben zu mittleren Basalkortisolkonzentrationen im Blut des Rindes (nach FEIST, 2004)

Mittlere Blutkortisolkonzentration	Substrat	Quelle
4,7 ng/ml	Plasma	TERMEULEN et al., 1981
4,5 ± 0,7 ng/ml	Serum	SHUTT und FELL, 1985
2,0 – 6,5 ± 2,5 ng/ml	Plasma	ALAM und DOBSON, 1986
3,3 – 4,5 ng/ml	Plasma	LEFCOURT et al., 1993
1,4 ng/ml	Plasma	SIXT et al., 1997
5 ng/ml	Plasma	KAUFMANN und THUN, 1998
8 – 38,8 ng/ml	Serum	ZINKE, 1998
8,4 – 41,5 ng/ml	Serum	EL-GHOUL und HOFMANN, 2002
2,0 – 5,0 ng/ml	Plasma	RUSHEN et al., 2008

Bei der Messung der Kortisolkonzentration aus dem Blut besteht das Risiko, dass das Handling und die Blutentnahme an sich den Kortisolspiegel ansteigen lassen können (EKESBO, 1984; MÖSTL und PALME, 2002; FEIST, 2004; RUSHEN et al., 2008; RÜTZ, 2010; PALME, 2012). Daher sind Feedback-freie Probenahmemethoden vorzuziehen. Nicht-invasive Probenahmemethoden schließen Kot-, Urin-, Speichel-, Milch- oder Haarproben mit ein (MÖSTL und PALME, 2002; RUSHEN et al., 2008; PALME,

2012). Jedoch erfordert die Gewinnung von Urin- oder Speichelproben ebenfalls eine Manipulation des Tieres und kann nur bis zu einem gewissen Maße für frei umherlaufende Tiere genutzt werden (MÖSTL und PALME, 2002; PALME, 2012). Zudem ist im Speichel nur die biologisch aktive, ungebundene Glukokortikoid – Fraktion vorhanden (PALME, 2012). Bei den lange Zeit empfohlenen Haarproben für die Langzeitmessung von Stress wurden Hinweise gefunden, dass die Glukokortikoid-Konzentration in den Haaren nicht genau den Langzeit-Plasmaspiegel wiedergibt. Außerdem werden Glukokortikoide auch lokal in den Haarfollikeln produziert und können somit Anzeichen für Hautstress anstelle systemischen Stresses sein (PALME, 2012). Bei der Messung von Kortisol aus der Milch ist zu beachten, dass der Kortisolgehalt in der Milch schnell absinkt und jede Melkung, trotz Routine, Stress für die Tiere bedeutet (RUSHEN et al., 2008). Somit eignen sich als nicht-invasive Methoden zur Kortisolbestimmung Kotproben, da diese einfach gesammelt werden können ohne das Tier zu stressen (MÖSTL und PALME, 2002; PALME, 2012; HUZZEY et al., 2013).

Bei der Messung von Kot-Kortisol fanden PALME und MÖSTL (1996) den 11-Oxoätiocholanole–Enzym-Immuno-Assay, der den Kortisol-Metaboliten 11,17-Dioxoandrostan (11,17-DOA) misst, der strukturell mit den Hormonen verwandt ist. Die Extraktion der Metaboliten aus dem Kot erfolgt mit 80 % Methanol (0,5 g Kot, 1 ml Wasser, 4 ml Methanol) (PALME und MÖSTL, 1996; PALME et al., 2013). Dabei zeigt sich, dass der Basalwert der fäkalen Kortisolmetaboliten (FCM) eine große Spannweite aufweist (Tabelle 2). Bei der Planung der Probennahme ist zudem zu beachten, dass die Passagezeit der Ingesta bei Rindern etwa 12 Stunden beträgt und die Kortisolkonzentration mit einer Verzögerungszeit von zehn bis 12 Stunden angezeigt wird (LEXEN et al., 2008; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2010; PALME, 2012). Während bei chronischem Stress Einzelproben ausreichen, sind zur Darstellung von akutem Stress häufigere Probenahmen nötig (PALME und MÖSTL, 1996; MÖSTL und PALME, 2002; PALME et al., 2002).

Tabelle 2: Angaben zur Basalkonzentration von Kortisolmetaboliten im Kot von Rindern

Basalwerte Kortisolmetaboliten im Kot	Quelle
34 – 445 nmol FCM/kg Kot	PALME et al., 1999
15 – 576 nmol FCM/kg Kot	PESENHOFER et al., 2006

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu bedenken, dass Hormone, wie Kortikosteroide, gleichzeitig an einer Vielzahl von Regulationsmechanismen im Körper beteiligt sind. Daher sind auftretende physiologische Reaktionen nicht spezifisch auf die Belastung beschränkt, sondern im Zusammenhang mit körperlicher Arbeit, Stoffwechselvorgängen und anderen Funktionen zu sehen und zu interpretieren (KNIERIM, 1998; PALME, 2012). Bei langandauerndem Stress scheinen Veränderungen auf verschiedenen Stufen der Hypothalamus – Hypophysen – Nebenniere – Achse und verwandter Systeme in Gang gesetzt zu werden. So zeigen Studien, dass bei Langzeit-Stress nach einer anfänglich gesteigerten Aktivität der Nebennierenrinde eine offensichtliche „Normalisierung“ auf die basale Kortisolaktivität eintritt und es zu einem Rückgang der Kortisolfreisetzung kommt, obwohl andere Stressreaktionen, wie Verhaltensänderungen, immer noch deutlich erkennbar sind (JENSEN et al., 1996).

1.3. Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Die Messung der Herzfrequenz ist eine der gebräuchlichsten, nicht-invasiven Methoden zur Erfassung physiologischer Stressparameter (JANZEKOVIC et al., 2010).

Die Herzfrequenz ist definiert als die Anzahl der Herzschläge pro Minute (engl.: beats per minute, bpm). Die physiologische Herzfrequenz von Rindern liegt bei etwa 50 – 80 bpm, abhängig von Alter, Leistung oder sonstigen Belastungen (JANZEKOVIC et al., 2010; BUCK et al., 2012).

Die Herzmuskulatur bildet die Reize für Ihre Aktivierung selbst in einer besonderen Art von Muskel- und Nervenzellen (Sinusknoten, AV-Knoten, Hiss-Bündel, linker / rechter Tawaraschenkel und Purkinjefasern). Der Si-

nusknoten agiert dabei als primärer Pulsgeber für den Herzschlag, bildet den schnellsten Reiz und erregt andere Herzzentren, wie den AV-Knoten, bevor diese ihre eigenen elektrischen Impulse abgeben können. Der Sinusknoten steht dabei unter der Kontrolle des sympathischen und des parasympathischen Nervensystems (WITTE, 2001; HAGEN et al., 2005; VON BORELL et al., 2007; FIEGUTH et al., 2013). Bei Ausbreitung und Rückbildung der Erregung entsteht ein elektrisches Feld, das sich, aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit des Herzens, bis an die Körperoberfläche ausbreitet (WITTE, 2001).

Die regulierenden Zentren für die Funktion des Herzens liegen in der Medulla oblongata (WITTE, 2001). Es gibt dabei eine direkte, festprogrammierte Verbindung zwischen der Kontrolle der kardiogenen Funktion und der Reaktion eines Tieres. Die wichtigsten Stimuli für Variationen in der Herzfrequenz sind Aufregung, Stress, Training oder eine veränderte körperliche Homöostase (JANZEKOVICH et al., 2010). Die aus dem Gehirn und den Sakralsegmenten des Rückenmarks entspringenden parasympathischen Nervenfasern bedingen, bei Reizung, eine Senkung der Herzfrequenz. Dabei wird die Erregungsleitung von den Vorhöfen auf die Kammern verringert, die Kraft der Kontraktion der Herzkammern herabgesetzt und somit die Leistung des Herzens vermindert (WITTE, 2001; VON BORELL et al., 2007). Der Einfluss des parasympathischen Nervensystems auf die Herzfunktion wird durch Informationen aus verschiedenen Abschnitten des Gefäßsystems reguliert (WITTE, 2001). Das sympathische Nervensystem, ein Zweig des autonomen Nervensystems, geht aus dem Hypothalamus hervor und stellt eine direkte Verbindung mit vielen inneren Organen, u.a. auch dem kardiovaskulären System dar. Bei der Mehrheit dieser Verbindungen dient Noradrenalin als Neurotransmitter (RUSHEN et al., 2008). Bei Reizung des Sympathikus kommt es somit zu einer Zunahme der Herzfrequenz. Die Erregungsleitung von den Vorhöfen auf AV-Knoten und Kammermuskulatur wird beschleunigt und die Kontraktionskraft der Kammern nimmt zu (WITTE, 2001; VON BORELL et al., 2007). Die sympathischen Zentren erhalten ihre Information vor allem aus dem Bereich der Großhirnrinde, den Barorezeptoren im Bereich des Aortenbogens und des Karotissinus und den Chemorezeptoren des Glomus

caroticum und aorticum (WITTE, 2001). Dabei ist zu beachten, dass Änderungen des Herzschlages, die durch das parasympathische System induziert sind, innerhalb von fünf Sekunden eintreten, während Herzreaktionen auf Reizungen des sympathischen Nervensystems langsamer auftreten, mit einer initialen Antwortverzögerung von bis zu fünf Sekunden, gefolgt von einer maximalen Reaktion nach 20 – 30 s (VON BORELL et al., 2007).

Die Änderung der Herzfrequenz kann somit bei der Untersuchung der Reaktion von Tieren auf Stress ein relevanter Parameter sein (JANZEKOVIC et al., 2010). Jedoch ist zu bedenken, dass die Herzfrequenz von verschiedenen Parametern abhängt, wie dem Individuum selbst, dem Laktationsverlauf, dem Zeitpunkt der Melkung oder der Höhe der Milchleistung. Durch eine höhere Milchleistung steigt der Energiebedarf und somit auch der Stoffwechsel an, was wiederum die Herzfrequenz beeinflusst (JANZEKOVIC et al., 2010).

Die Erfassung der Herzfrequenz ist auskultatorisch mittels Phonendoskop möglich. Dies erlaubt jedoch nur eine kurzfristige, punktuelle Messung und kann zudem durch direkten Kontakt mit dem Tier eine Stresssituation darstellen. Weitere Möglichkeiten die Herzfrequenz zu ermitteln bieten ein Elektrokardiogramm (EKG) oder Monitore, die die R-Zacken eines EKG abbilden (VON BORELL et al., 2007). Dabei können Herzfrequenzmonitore chirurgisch implantiert oder extern angebracht werden (LEFCOURT et al., 1999; VON BORELL et al., 2007; JANZEKOVIC et al., 2010). Der Nachteil chirurgisch implantierter Monitore besteht im Risiko von Komplikationen während des Eingriffs und der Narkose sowie einer länger andauernden Erholungszeit bis aussagekräftige Messungen möglich sind (VON BORELL et al., 2007). Daher eignen sich zur Herzfrequenzmessung am besten telemetrische Messverfahren. Diese, aus dem humanen Sportbereich stammenden Geräte, bestehen aus einem Sensor, der vom Herzen ausgehende Impulse registriert, einer übertragenden Einheit und einer Datenschnittstelle. In einer Studie von JANZEKOVIC et al. (2010) wurde gezeigt, dass telemetrische Herzfrequenzmessgeräte aus dem Humanbereich gut geeignet sind, um Signale von fixierten oder frei beweglichen Tieren zu erfassen.

Im Moment bietet jedoch nur eine Firma kommerzielle telemetrische Herzfrequenzmessgeräte für den Pferdesportbereich an, die Polar Electro aus Öy, Finnland (VON BORELL et al., 2007). Vergleiche von equinen Polar-Herzmonitoren mit EKG-Aufzeichnungen zeigten aber, dass diese auch für die Aufzeichnung der Herzfrequenz bei Kühen geeignet sind (JANZE-KOVIC et al., 2010; FIEGUTH et al., 2013).

Ein weiterer brauchbarer Indikator für die Stressforschung im Nutztierbereich stellt die Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability, HRV) dar (VON BORELL et al., 2007). Sie gibt die Veränderungen des zeitlichen Abstandes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen wieder, denn die Herzfrequenz ist nicht stabil sondern ändert sich ständig (WITTE, 2001; MOHR et al., 2002; HAGEN et al., 2005; VON BORELL et al., 2007; FIEGUTH et al., 2013). Eine gesunde Herzfunktion ist gekennzeichnet durch irreguläre Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Herzschlägen. Je variabler also die Herzfrequenz ist, desto gesünder ist der Organismus (WITTE, 2001; MOHR et al., 2002; VON BORELL et al., 2007). Erfasst wird die HRV als Veränderung des R-R-Intervalls, das den Abstand der R-Zacken zweier aufeinander folgender Herzschläge in Millisekunden angibt (MOHR et al., 2002). Die Herzfrequenzvariabilität basiert dabei grundlegend auf den antagonistischen periodischen Einflüssen des sympathischen und parasympathischen Nervensystems auf den Nodus sinuatrialis des Herzens (WITTE, 2001; MOHR et al., 2002). Steigen die Anforderungen an den Organismus, so vermindert sich die HRV, hervorgerufen durch die Wirkung des Sympathikus. Der Parasympathikus dagegen bewirkt eine Erhöhung der HRV im Zustand von Ruhe und Entspannung (TOBER et al., 2014). Somit ist die HRV eine Messvariable, die vor allem unter Ruhebedingungen das vorherrschende Gleichgewicht zwischen vagalem und sympathischem Tonus widerspiegelt und mit ihren Parametern abbildet (MOHR et al., 2002; WINCKLER et al., 2006; VON BORELL et al., 2007). Sie kann deshalb als Kenngröße für die Anpassungsfähigkeit eines Organismus an innere und äußere Belastungsfaktoren eingesetzt werden (TOBER et al., 2014).

Die Methode der Messung der Herzfrequenzvariabilität stammt ursprünglich aus dem Humanbereich. Untersuchungen von Belastungszuständen

bei Milchrindern und Kälbern mit Hilfe verschiedener Parameter der HRV Analyse haben gezeigt, dass die Anwendung auch beim Rind als telemetrisches Messverfahren geeignet ist (MOHR et al., 2002; TOBER et al., 2014).

Die Parameter der Herzfrequenzvariabilität können im Zeit- und im Frequenzbereich untersucht werden. Der Zeitbereich umfasst dabei die SDNN, RMSSD und die SDANN (Tabelle 3). Dabei ist zu beachten, dass die Zeitbereich-Methode der HRV-Analyse die Abfolge der Messungen nicht berücksichtigt und daher zyklische und deterministische Prozesse nicht identifiziert. Sie erlaubt aber eine Unterscheidung zwischen vorherrschend vagal vermittelter Kurzzeit-HRV und der Gesamt-HRV (WITTE, 2001; HAGEN et al., 2005). Im Frequenzbereich werden die normalisierte Kraft im Niedrigfrequenzbereich (low frequency, LF_{norm}) und im Hochfrequenzbereich (high frequency, HF_{norm}) sowie der LF/HF – Quotient berechnet (MOHR et al., 2002). Dabei spiegeln die Hochfrequenzkomponenten, die sich auf die atmungsbedingte Sinusarrhythmie eines Organismus beziehen, in erster Linie den vagalen Tonus wieder, während Niedrigfrequenzkomponenten von beiden Zweigen des autonomen Nervensystems beeinflusst werden (HAGEN et al., 2005).

Tabelle 3: Übersicht der wichtigsten Parameter der Herzfrequenzvariabilität (nach HAGEN et al., 2005 und TOBER et al., 2014)

HRV-Parameter	Definition	Interpretation
SDNN	Standardabweichung aller R-R-Intervalle einer Messreihe [ms]	Gesamtvariabilität, Langzeitvariabilität
SDANN	Standardabweichung des 5-Minuten-Mittelwertes der R-R-Intervalle einer Messreihe [ms]	Erfassung langfristiger Schwankungen
RMSSD	Quadratwurzel des Mittelwertes der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender R-R-Intervalle [ms]	Aktivität des Parasympathikus
LF _{norm}	Normierte Leistung im Niedrigfrequenzbereich (0,04 – 0,25 Hz)	Mischung aus parasympathischer und sympathischer Aktivität
HF _{norm}	Normierte Leistung im Hochfrequenzbereich (0,25 – 0,58 Hz)	Aktivität des Parasympathikus
LF/HF	Quotient aus den Leistungen im LF- und HF-Frequenzbereich	Sympathovagale Balance

Ein Rückgang der Herzfrequenz bzw. ein Anstieg der HRV sind als Zeichen von Entspannung anzusehen, während umgekehrte Veränderungen als Indikatoren für Anspannung und Furcht gelten (WINCKLER et al., 2006). Ein Effekt der Tageszeit auf die Herzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität wurde von HAGEN et al. (2005) gefunden. Im Verlauf eines Tages stieg während des Liegens die mittlere Herzfrequenz an, während die Kurzzeit-Variabilität sank.

Änderungen in der Herzaktivität werden neben der Lebendmasse auch stark vom Verhalten und dabei vor allem von der physischen Aktivität beeinflusst (HAGEN et al., 2005; VON BORELL et al., 2007). Beispielsweise beeinflusst die metabolische Aktivität beim Stehen, im Vergleich zum Liegen, die kardiovaskuläre Aktivität vermehrt (HAGEN et al., 2005). Wieder-

kauen hingegen senkt die Herzfrequenz, da dieser Vorgang in Ruhezeiten, vom peripheren Nervensystem gesteuert, abläuft. Somit ist beim Vergleich nicht-motorischer Komponenten zu beachten, dass nur Messungen verglichen werden die während ähnlicher Verhaltensabläufe erfolgt sind (VON BORELL et al., 2007). MOHR et al. (2002) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass bei einem Vergleich laktierender und nicht laktierender Kühe die HRV-Parameter der laktierenden Tiere signifikant höhere Werte aufwiesen, als die der nicht-laktierenden. Sie schlossen daraus auf eine Verschiebung der sympathovagalen Balance in Richtung Sympathikus, was auf eine höhere Belastung der laktierenden Kühe hinweist. TOBER et al. (2014) konnten bei ihren Untersuchungen der HRV in Abhängigkeit von der Stalltemperatur zeigen, dass sich die sympathovagale Balance bei hohen Umgebungstemperaturen (um 27 °C, THI um 73) in Richtung Sympathikus verschob, die Tiere also mehr belastet waren.

Die telemetrische Erfassung der Herzfrequenz ist somit ein weiterer geeigneter Parameter, um die Reaktionen der Tiere auf physiologische und umweltbedingte Herausforderungen zu beobachten und die Stressbelastung auf das Tier zu beurteilen. Herzfrequenzmessungen ermöglichen die Bestimmung von Kurzzeiteffekten auf das Tier, geben aber wenige Informationen über Langzeiteffekte von Stress. Auch zeigt die Herzfrequenz oft widersprüchliche Reaktionen bei ähnlichen Herausforderungen, was die Interpretation erschwert (MOHR et al., 2002). Die Analyse der HRV erlaubt eine genauere und detailliertere Bestimmung der funktional regulatorischen Eigenschaften des autonomen Nervensystems als die Bestimmung der Herzfrequenz alleine und ist somit ein guter Indikator für die nicht-invasive Bestimmung der Aktivität des autonomen Nervensystems als Reaktion auf psychophysiologischen Stress (VON BORELL et al., 2007).

1.4. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz ist definiert als Anzahl der Atemzüge pro Minute. Die physiologische Atemfrequenz adulter Rinder liegt zwischen zehn und 30 Atemzügen pro Minute (BAUMGARTNER, 2009). Gesteuert wird die Atemtätigkeit vom Atemzentrum im Hirnstamm. Die Inspiration erfolgt durch Kontraktion der Interkostalmuskulatur und des Zwerchfells, während die Expiration passiv durch das Zusammenziehen der Lunge aufgrund

ihrer Elastizität geschieht. Bei forcierter Atmung unterstützen zusätzliche Muskeln wie die Bauchmuskulatur die In- und Expiration. Das Rind entspricht somit dem kostoabdominalen Atemtyp, mit abdominaler Betonung. Es werden somit während der Atmung sowohl der Thorax, als auch die Bauchwand bewegt, wobei die Bauchatmung stärker als die Brustatmung ausfällt (BAUMGARTNER, 2009).

Die Ermittlung der Atemfrequenz erfolgt beim Rind adspektorisch durch Zählen der Atembewegungen für 30 Sekunden und anschließender Multiplikation mal zwei um die Atemfrequenz pro Minute zu erhalten. Dafür wird schräg hinter das Tier stehend Thorax, Rippenbogen und Bauchwand beobachtet. Wichtig dabei ist, das Tier möglichst nicht zu beunruhigen (BAUMGARTNER, 2009). EIGENBERG et al. (2000) entwickelten einen Sensor zur automatisierten Überwachung der Atemfrequenz anhand der Abdomenbewegung. Dessen Einsatz ist jedoch unter Praxisbedingungen im Laufstall nicht praktikabel.

Eine Erhöhung der Atemfrequenz über 40 Atemzüge/min entspricht einer beschleunigten Atemtätigkeit, der sogenannten Tachypnoe (STÖBER, 2012). Dies kann durch körperliche Anstrengung oder psychische Erregungszustände auftreten. Zu diesen zählen in der Intensivtierhaltung vor allem Klimafaktoren wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit oder der Gehalt an Schadgasen in der Luft. Dabei kann die Atemfrequenz so weit ansteigen, dass die Tiere hecheln. Hierbei zeigen sie ein beschleunigtes, kurzes und oberflächliches Atmen mit heraushängender Zunge, das eine vermehrte Wasserdampfabgabe bewirken soll und somit der Temperaturregulation dient (BAUMGARTNER, 2009). Atemfrequenzen im krankhaft erhöhten Bereich sind unter anderem zu beobachten bei Verringerung der zur Atmung verfügbaren Alveolaroberfläche, bei Kreislaufinsuffizienz, bei Anämie oder raumfordernden Prozessen innerhalb des Bauchraumes (STÖBER, 2012).

1.5. Körpertemperatur

Die physiologische Körperkerntemperatur wird beim Rind von verschiedenen endo- und exogenen Faktoren beeinflusst. So spielt das Lebensalter eine wichtige Rolle (AUERNHAMMER, 1995). Die thermoregulatorische

Fähigkeit neugeborener Kälber entwickelt sich erst in den ersten Lebenstagen, was sich in einem Abfall der Körpertemperatur für etwa acht Stunden post partum zeigt und ist nach etwa zwei Jahren vollständig ausgebildet (NICHELMANN, 1971). So beträgt die Kerntemperatur von Kälbern 38,5 bis 39,5 °C und sinkt bei Jungrindern auf 38,0 – 39,5 °C ab (AUERNHAMMER, 1995). Die Wärmedurchgangszahl der Körperschale sinkt mit steigendem Alter und die Widerstandsfähigkeit gegen Kälte nimmt zu. Ursachen hierfür sind zum einen eine erhöhte Gefäßreaktion im Alter, ein dichteres Haarkleid und somit eine bessere Isolationsschicht. Auch ein günstigeres Verhältnis von Körpervolumen zu Körperoberfläche und eine Abnahme der relativen Oberfläche, bezogen auf das Körpergewicht, sorgen für eine steigende Gesamtisolation. Im Alter erhöht sich zudem die Wärmeproduktion von Kühen aufgrund eines erhöhten Gesamtstoffwechsels und eines hohen Leistungstoffwechsels infolge der Milchproduktion (NICHELMANN, 1971). Die physiologische Körpertemperatur adulter Rinder liegt dann zwischen 38,0 und 39,0 °C (AUERNHAMMER, 1995). Andere Literaturstellen sprechen von 37,5 bis 38,8 °C (JESSEN, 2005; BAUMGARTNER, 2009). Dabei sind die physiologischen Werte sowohl gesunder, als auch kranker Tiere Tagesschwankungen von 0,5 – 1 °C unterworfen, mit Minimumwerten am Morgen um ca. sechs Uhr und Maximalwerten am Abend um ca. 18 Uhr (LYHS, 1971; AUERNHAMMER, 1995; CALEGARI und FRAZZI, 2002; BAUMGARTNER, 2009; VICKERS et al., 2010). Diese rhythmischen Tagesschwankungen beruhen auf Sollwertverstellungen (LYHS, 1971). Die Zeitpunkte der täglichen Minimal- und Maximalwerte sind jedoch von weiteren Einflüssen wie den Umgebungsbedingungen, der Aufstallung und der Jahreszeit abhängig (GEORG et al., 2009; VICKERS et al., 2010). Auch Bewegung und die Verstoffwechslung von Nahrungsbestandteilen können als weitere Parameter zu einer Erhöhung der Körperkerntemperatur führen. Daher sollten die Ergebnisse gerade von Einzeldatenmessungen vorsichtig interpretiert werden (VICKERS et al., 2010).

Die übliche Methode um die Körpertemperatur eines Rindes zu erfassen ist die rektale Messung mittels Thermometer (AUERNHAMMER, 1995; KLINDWORTH et al., 2002; BAUMGARTNER, 2009; GEORG et al., 2009;

BURFEIND et al., 2010; VICKERS et al., 2010; HOFFMANN et al., 2013). Die Kerntemperatur eines Tiers wird jedoch durch die Rektaltemperatur nicht immer genau wiedergegeben. Unter konstanten Bedingungen ist die Genauigkeit am höchsten. Schnelle Änderungen im Wärmebestand des Organismus werden, aufgrund der relativ großen Wärmekapazität des Rektums und der umliegenden Gewebe, durch die Rektaltemperatur mit Verzögerung gezeigt (LYHS, 1971; NICHELMANN, 1971). Zudem kann das aus den Extremitäten zurückfließende Blut einen Kühleffekt auf das Rektum ausüben. Für praktische Zwecke ist die Rektaltemperatur jedoch ausreichend um die Körperkerntemperatur zu beurteilen (LYHS, 1971).

Die Messung der Rektaltemperatur dient vorwiegend dazu Krankheiten bei Tieren zu diagnostizieren (AUERNHAMMER, 1995; KLINDWORTH et al., 2002; GEORG et al., 2009; BURFEIND et al., 2010; VICKERS et al., 2010; HOFFMANN et al., 2013). Überschreitet die Körpertemperatur einen vorgegebenen Schwellenwert, spricht man von Fieber. Bereits eine einzelne gemessene Überschreitung dieses Schwellenwertes dient als Hinweis auf einen infektiösen Krankheitsprozess (AUERNHAMMER, 1995; BURFEIND et al., 2010). Jedoch weißt auch eine signifikante Anzahl gesunder Rinder gelegentlich Körpertemperaturen über 39,5 °C auf und nicht alle Kühe mit einer Metritis zeigen eine erhöhte Körpertemperatur bei nur einmaliger Messung am Tag (BURFEIND et al., 2010). Schwankungen der Körpertemperatur treten auch im Verlaufe des Östrus einer Kuh auf sowie vor der Geburt, aufgrund der Wirkung von Progesteron als endogene Substanz (WRENN et al., 1958).

Bei der rektalen Messung der Körpertemperatur ist zu beachten, dass diese vom Untersucher, der Eindringtiefe, und dem Thermometertyp beeinflusst wird (BURFEIND et al., 2010; VICKERS et al., 2010). Da die Rektaltemperatur nur in fünf bis 12,5 cm Eindringtiefe konstant ist, muss das Thermometer mindestens fünf Zentimeter tief in das Rektum eingeführt werden (NICHELMANN, 1971). Je tiefer das Thermometer dabei ins Rektum eingeführt wird, umso höher ist die gemessene Körpertemperatur (BURFEIND et al., 2010). Weiterhin lässt sich mittels rektaler Messung nur die Körpertemperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt erfassen und mögliche Schwankungen können übersehen werden. Daher gibt es verschiede-

ne Möglichkeiten die Körpertemperatur von Kühen kontinuierlich zu erfassen. Beispielsweise lassen sich über Pansenboli, in die Abdominalhöhle oder hinter den Rippenbogen transplantierte Transmitter, ins Euter implantierte Thermistoren oder injizierbaren Transpondern mit integriertem Temperatursensor kontinuierlich brauchbare Daten erheben. Jedoch handelt es sich bei all diesen Verfahren um invasive Eingriffe (AUERNHAMMER, 1995; KLINDWORTH et al., 2002; GEORG et al., 2009; VICKERS et al., 2010; HOFFMANN et al., 2013).

BURFEIND et al. (2010) fanden hohe Korrelationskoeffizienten und geringe Unterschiede zwischen verschiedenen Messungen der Rektaltemperatur und schlossen daher, dass die Rektaltemperatur eine gute wiederholbare Messgröße zur Ermittlung der Körpertemperatur ist. Um Überwachungsprogramme, Behandlungs- und Versuchsprotokolle zu entwickeln, die sich auf die Körpertemperatur beziehen sollte die Messung der Rektaltemperatur immer mit demselben Thermometer und derselben Eindringtiefe erfolgen (BURFEIND et al., 2010).

1.6. Leistung

Als Leistung von Rindern ist vor allem die Milchleistung zu sehen, aber auch Wachstum oder körperliche Arbeit, beispielsweise bei Zugtieren gehören dazu. Es gibt die Annahme, dass ein Tier nur unter optimalen Haltungsbedingungen sein Leistungspotential voll ausnutzen kann. Dabei ist zu beachten, dass gute Leistungen im Gruppendurchschnitt nicht ausschließen, dass das Wohlbefinden einzelner Individuen beeinträchtigt ist. Leistungseinbrüche und Gesundheitsstörungen gelten in der Regel als Anzeichen für massive Beeinträchtigungen, sollten jedoch nur zusammen mit anderen Indikatoren betrachtet werden (ALBRIGHT, 1987).

Laut LUTZ (2000) steigt die Tagesmilchmenge merklich an, wenn den Kühen ein Umfeld geboten wird, dass ihren Bedürfnissen entspricht. Ist das Tier vor oder während des Melkens einem Stressor ausgesetzt, ist die Milchejektion in unterschiedlichem Maße gehemmt. Diese Hemmung wird zentral gesteuert, durch Hemmung der Oxytocinfreisetzung aus der Neurohypophyse. Auch eine periphere Behinderung des Milchabflusses aus dem Alveolenteil aufgrund katecholamininduzierter Kontraktion der glatten

Muskulatur der großen Milchgänge trotz ausreichend hohem Oxytocin-spiegel kann einen Rückgang der Milchleistung bedingen (SCHOPFER, 2002).

Eine hohe Leistung ist jedoch oft assoziiert mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lahmheiten, Mastitiden, beschädigten Euterbändern und Problemen bei der Geburt, was zu einer reduzierten Lebenserwartung führen kann (BROOM, 1991) und somit wieder eine Belastung für das Tier darstellt.

1.7. Verhalten

Verhaltensanalysen sind bereits gut etabliert, um Stress bei Tieren erfassen zu können (MOHR et al., 2002). Die angeborenen Verhaltensweisen des Rindes werden in Funktionskreise eingeteilt. Sie umfassen das Sozialverhalten, das Fressverhalten (Grasen, Aufnahme von Supplementen, Trinken), das Bewegungsverhalten (Gehen, Rennen, Dehnen), das Körperpflege- und Komfortverhalten (Belecken, Scheuern, Kratzen), das Mutter-Kind-Verhalten, das Sexualverhalten, das Ruheverhalten (Liegen, Stehen), das Ausscheidungsverhalten (Urin-, Kotabsatz) und gegebenenfalls zusätzlich die Reaktionsfähigkeit, das Erkundungsverhalten, das Assoziationsverhalten sowie die Territorialität (ALBRIGHT und ARAVE, 1997). „Natürliches“ Verhalten ist dabei schwer zu beurteilen, da domestizierte Rinder eine andere genetische Basis aufweisen als Wildrinder (z.B. Büffel). Daher ist das Verhalten verwilderter Rinder nur eingeschränkt zum Vergleich geeignet, da diese meist kleiner sind und eine geringere Milchleistung aufweisen als „moderne“ Rassen (RUSHEN et al., 2008).

Verhaltensänderungen gegenüber dem Normalverhalten gelten als Reaktion auf Schwierigkeiten mit der Umwelt. Sie können Komponenten regulatorischer Reaktionen, aber auch von Notfall-Reaktionen sein. Daher ist bei der Beurteilung verhaltensbedingter Reaktionen darauf zu achten, dass manche Verhaltensänderungen dem Tier helfen sich anzupassen, während andere keinen positiven Effekt haben und als Verhaltensstörung gelten. Beides sind jedoch Indikatoren des Wohlbefindens (BROOM, 1991). Sowohl das absolute Übermaß bestimmter Aktivitäten, als auch die Inaktivität oder das Fehlen einer Reaktion können Anzeichen für mangelndes

Wohlbefinden sein. Die Änderung des Verhaltens hilft Frust und die Unvorhersehbarkeit oder das Fehlen der Kontrolle über die Umwelt abzubauen (BROOM, 1986).

Im Rahmen des „Welfare-Quality®“ Projektes, das der Beurteilung des Tierwohls dient, wurde neben den agonistischen Interaktionen, die die Gesamtheit aller Verhaltensweisen umfassen, die mit Rivalität, Wettbewerb und Konkurrenz verbunden sind, das Ruheverhalten der Rinder als Messgröße für die Beurteilungsprotokolle genutzt, um das Tierwohl und somit auch die Belastung durch Stressoren zu erfassen (KNIERIM und WINCKLER, 2009). Die Liegezeit von Kühen beträgt dabei, abhängig von der Literaturstelle, sieben bis 14 Stunden pro Tag (Tabelle 4). In diesem 24 Stunden Zeitraum legen sich Kühe acht- bis zehnmal nieder. Nach etwa zwei Stunden stehen die Tiere wieder auf und legen sich erneut auf der anderen Körperseite ab, wobei über 55 % der Liegezeit in den Zeitraum von 22:00 bis 04:00 Uhr entfallen (ALBRIGHT, 1987). Die Liegedauer wird dabei von verschiedenen Faktoren, wie der Beschaffenheit der Liegeflächen, der Anzahl der Liegeplätze oder dem Zeitpunkt der Fütterung beeinflusst (LUTZ, 2000; WILLEN, 2004; RUSHEN et al., 2008; RÜTZ, 2010). Laut Empfehlung sollten Kühe mindestens 12 Stunden pro Tag liegen, um eine bessere Durchblutung des Eutergewebes und somit eine höhere Milchproduktion zu erreichen, um Wiederzukauen, zur Entlastung der Gliedmaßen und um die Klauen abtrocknen zu lassen (LUTZ, 2000; TOBER et al., 2011).

Tabelle 4: Angaben zu täglichen Liegezeiten bei Kühen in der Literatur

Liegezeit pro Tag bei Kühen	Quelle
12 - 14 Stunden	LUTZ, 2000
6,8 – 13 Stunden	WILLEN, 2004
13,8 Stunden	RÜTZ, 2010
11,9 Stunden	SCHINDHELM, 2016

Grundsätzlich lässt sich jedoch sagen, dass die Überwachung des Verhaltens komplex ist und meist eine Mischung aus internen und externen Faktoren einschließt (RUSHEN et al., 2008).

2. Thermoregulation Rind

Rinder gehören als Säugetiere, im Gegensatz zu Amphibien, zu den homoiothermen Tieren. Das heißt, sie können ihre Körpertemperatur in gewissen Grenzen ohne großen Aufwand konstant bei 36 – 39 °C halten, unabhängig von der Umgebungstemperatur (JESSEN, 2000; JESSEN 2005). Die Größe, die dabei geregelt wird, ist die Körperkerntemperatur, da nur der Körperkern, also die Organe der Brust- und Bauchhöhle sowie das Gehirn, homoiotherm ist. Dieser Kern wird von einer Schale umgeben, die sich aus Haut und Unterhaut, der Skelettmuskulatur in Ruhe, den Extremitäten sowie den Ohren und dem Schwanz zusammensetzt. In der Schale nähert sich die Temperatur der Gewebe an die Umgebungstemperatur an (LYHS, 1971; JESSEN, 2000; BLUM, 2003). Sie dient somit als Wärmeübermittler zur Wärmeabgabe bei hohen Umgebungstemperaturen und als Isolator zur Wärmekonservierung bei tiefen Temperaturen (LYHS, 1971).

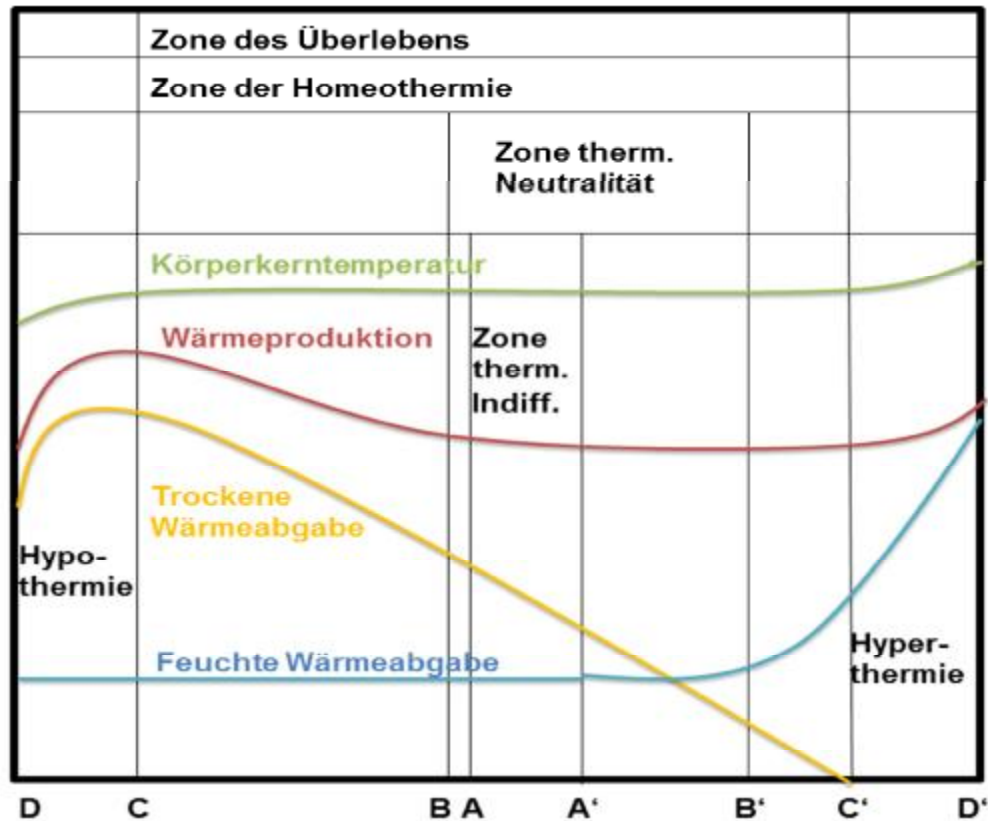
Die temperaturregulierenden Zentren eines Rindes sind dabei im Hypothalamus und in der Area präoptica, rostral des Hypothalamus zu finden (NICHELMANN, 1971; AUERNHAMMER, 1995; JESSEN, 2000; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Geregelt wird hier die Abweichung des IST-Wertes, der über Kerntemperatur-Messfühler überwacht wird, vom SOLL-Wert durch Aktivierung der Wärmeabgabe oder der Wärmeproduktion (LYHS, 1971; NICHELMANN, 1971; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Das Wärmeabgabezentrum ist dabei, stark vereinfacht dargestellt, im vorderen Hypothalamus, das Wärmebildungszentrum im hinteren Hypothalamus zu finden (AUERNHAMMER, 1995). Messfühler für die Körperkerntemperatur befinden sich größtenteils im Rückenmark, aber auch Gefäße sowie der Hypothalamus sind wärmesensibel (AUERNHAMMER, 1995; BLUM, 2003). So führt eine Erwärmung des vorderen Hypothalamus zu Kühlvorgängen, wie der Erweiterung der Hautgefäße oder zu Schweißsekretion. Jedoch ist bei Rindern die Hypothalamustemperatur nicht von zentraler

Bedeutung für die Regelung der Körperkerntemperatur wie bei anderen Tierarten, da die Hypothalamustemperatur um 0,5 – 1 °C schwanken kann ohne eine Reaktion des Wärmezentrums hervorzurufen (AUERNHAMMER, 1995). Zu einer Sollwertverstellung kann es durch Schmerzen, Schlaf, Schließen der Augen oder der Reizung peripherer Wärmerezeptoren kommen, die alle eine Sollwertsenkung zur Folge haben (NICHELMANN, 1971). Fieber hingegen kann den Sollwert durch Interleukine (exogene Pyrogene, die die Bildung von Makrophagen induzieren) erhöhen und es werden Steuersignale ans motorische System (Zittern, Hecheln) oder ans sympathische System (Erhöhung der Hautdurchblutung, Schweißsekretion) gesandt, so dass die Kerntemperatur auf einen neuen Sollwert angehoben wird (NICHELMANN, 1971; JESSEN, 2000). Am Ende einer Fieberperiode kommt es dann wieder zu einem Sollwertabfall und einer Wärmeabgabe. Der Sollwert wird dabei über das Verhältnis von Adrenalin/Noradrenalin zu Serotonin verstellt. Während Adrenalin/Noradrenalin eine Vasokonstriktion bewirken, erhöht Serotonin die Atemfrequenz, vermindert das Atemzugvolumen, führt zu einer kutanen Vasodilatation und bewirkt somit den Abfall der Körperkerntemperatur (NICHELMANN, 1971).

Der Bereich der Umwelttemperatur, in dem die Tiere mit minimaler Stoffwechselrate bzw. Wärmeproduktion ihre Körpertemperatur konstant halten können, wird Zone thermischer Neutralität ($B - B'$ in Abbildung 2) oder thermoneutrale Zone genannt (BIANCA, 1968; BLUM, 2003; TVT-MERKBLATT 100, 2010; TOBER et al., 2011). Sie wird durch den unteren kritischen Punkt nach unten und den oberen kritischen Punkt nach oben begrenzt. Die Lage und Breite dieser Zone ist abhängig von der Spezies, der Körpergröße, dem Alter, der Fütterungsintensität, der Höhe und Art der Leistung sowie der Akklimatisation beispielsweise durch Isolation des Haarkleides oder subkutaner Fettpolster (BIANCA, 1968; BLUM, 2003; TVT-MERKBLATT 100, 2010; TOBER et al., 2011). Innerhalb der Zone thermischer Neutralität liegt die Komfortzone eines Rindes, auch Zone thermischer Indifferenz genannt ($A - A'$ in Abbildung 2). Sie ist die Zone der Umgebungstemperatur, innerhalb welcher die Körperkerntemperatur mit minimaler thermoregulatorischer Aktivität normal gehalten werden

kann, der Organismus also unbelastet von Kälte und Wärme ist. Da diese Zone nach BLUM (2003) beim Haustier nicht genau definiert werden kann, spricht man beim Rind in der Regel nur von der thermoneutralen Zone. Diese ist nach ALBRIGHT und ARAVE (1997) definiert als der Bereich, in dem keine offensichtlichen Ansprüche bezüglich physiologischer oder thermoregulatorischer Mechanismen auftreten und die Gesamtwärmeproduktion, bei gegebener Energiezufuhr, annähernd konstant ist. Unterhalb der unteren kritischen Temperatur (B in Abbildung 2), die beim neugeborenen Kalb etwa 9 °C, bei einer Milchkuh mit einer Leistung von 36 kg Milch/d hingegen -40 °C beträgt, liegt die Zone des Kältestresses. Hier muss das Tier seine Wärmeabgabe über Vasokonstriktion und Piloerektion reduzieren und seine Wärmeproduktion über Erhöhung des Stoffwechsels sowie Muskelzittern steigern, um die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Gelingt dies nicht mehr, sinkt die Körperkerntemperatur ab und es kommt zur Hypothermie, die zum Kältetod führen kann. Dabei liegt die untere Letaltemperatur des Körpers etwa 15 bis 20 °C unterhalb der physiologischen Körpertemperatur (BLUM, 2003). Oberhalb der thermoneutralen Zone (A' in Abbildung 2) beginnt der Wärmestress für die Tiere. Hier müssen die Rinder in erster Linie versuchen Wärme an die Umgebung abzugeben, um ihre Körperkerntemperatur konstant zu halten. Dies ist bei Rindern bis zu einer Umgebungstemperatur von 25 – 30 °C durch Dilatation peripherer Gefäße, Schwitzen und Wärmehecheln möglich (NICHELMANN, 1971; BLUM, 2003). Bei steigender Umgebungstemperatur und gleichbleibender Luftfeuchtigkeit steigt die Rektaltemperatur in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur an, was zu einem erhöhten Temperaturgradienten Körperkern – Haut – Umgebung führt. Dies ermöglicht eine weitere Wärmeabgabe an die Umgebung, so dass die Rektaltemperatur auf erhöhtem Niveau konstant bleibt (NICHELMANN, 1971). So kommt es bei sehr hohen Umgebungstemperaturen, verbunden mit einem Anstieg der Wärmeproduktion, zur Hyperthermie, also einem Anstieg der Körperkerntemperatur ohne Sollwertverstellung (BLUM, 2003). Ab 30 °C und steigender relativer Luftfeuchtigkeit steigt die Rektaltemperatur jedoch unaufhaltsam an und das Rind ist nicht mehr in der Lage die entstehende Wärme trotz vergrößertem Temperaturgradienten abzugeben (NICHELMANN, 1971). Steigt die Körpertemperatur über 42 – 45 °C an,

kommt es zu einem lebensbedrohlichen Hitzschlag mit Abnahme der Hautdurchblutung, zum Kollaps und zum Bewusstseinsverlust. Es tritt bei den meisten Haussäugetieren der Hitzetod ein (JESSEN, 2000; BLUM, 2003).



- A – A'** Grenzen der Zone thermischer Indifferenz („Komfortzone“)
- B – B'** Grenzen der Zone thermischer Neutralität
(= Zone minimaler Wärmeproduktion) mit:
B = untere kritische Temperatur
B' = obere kritische Temperatur
- C – C'** Zone der Homeothermie
- D – D'** Zone des Überlebens mit:
D = untere limitierende Temperatur (niedriger → Kältetod)
D' = obere limitierende Temperatur (höher → Hitzetod)

Abbildung 2: Zonen der Thermoregulation bei Haustieren (nach BIANCA, 1968 und BLUM, 2003)

Da Rinder also relativ kältetolerant, aber wärmesensibel sind und gerade Milchkühe aufgrund ihrer hohen Leistung und damit einhergehend ihrem hohen Stoffwechselumsatz selbst große Mengen an Wärme produzieren, ist bei ihnen die Wärmeabgabe an die Umgebung von großer Bedeutung. Für eine Tagesleistung von im Peak bis 50 kg Milch pro Tier und Tag ist ein Input von mehr als 300 MJ umsetzbarer Energie erforderlich. Von der aufgenommenen Energie wird mehr als ein Drittel in Wärme umgewandelt und muss abgeführt werden (NICHELMANN, 1971; RÖßNER et al., 2005; BRADE, 2013). So erzeugt eine Kuh mit 550 kg Körpergewicht und einer Leistung von 30 kg Milch pro Tag bei einer üblichen Energiezufuhr von 43.921 kcal/d und einem Ausnutzungsgrad von 20 – 30 % etwa 30.000 – 35.000 kcal an Wärmeenergie pro Tag (NICHELMANN, 1971; Abbildung 3).

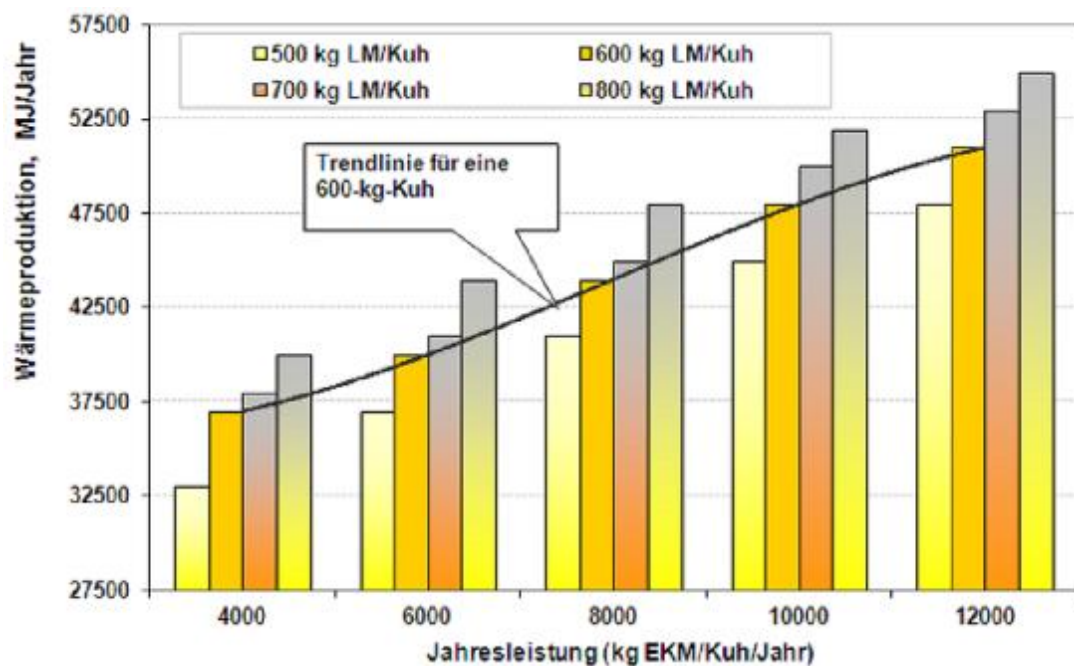


Abbildung 3: Wärmeproduktion bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Leistung und der Lebendmasse (BRADE, 2013, basierend auf Daten von JENTSCH et al., 2001)

Die Produktion körpereigener Wärme bei Milchkühen erfolgt durch zwei unabhängige Systeme: der biologischen Oxidation von Nahrungsbestandteilen, vor allem von Kohlehydraten und Fettsäuren, und der Aktivität von Bakterien und Protozoen im Pansen, relativ unabhängig von der Futterzu-

sammensetzung (RÖßNER et al., 2005). Die Wärmeproduktion in Ruhe im thermoneutralen Bereich wird in W/kg Körpergewicht angegeben und nimmt mit steigendem Gewicht, aufgrund des Oberflächen-/Volumen-Quotienten, ab. Beim Rind beträgt die durchschnittliche Wärmeproduktion etwa ein Watt je kg Körpergewicht (JESSEN, 2000). Dieser Wert wird jedoch in Abhängigkeit von der Fütterung, der Trächtigkeit oder der Laktation erhöht (NICHELMANN, 1971; JESSEN, 2000).

Bei der Wärmeabgabe wird zwischen trockener oder sensibler Wärmeabgabe, die von der Temperaturdifferenz zwischen Körperoberfläche und Umgebungstemperatur abhängig ist und feuchter oder evaporativer Wärmeabgabe, die vor allem von der relativen Luftfeuchte der Umgebung abhängt, unterschieden (Abbildung 4) (NICHELMANN, 1971; BLUM, 2003; JESSEN, 2005; TVT-MERKBLATT 100, 2010).

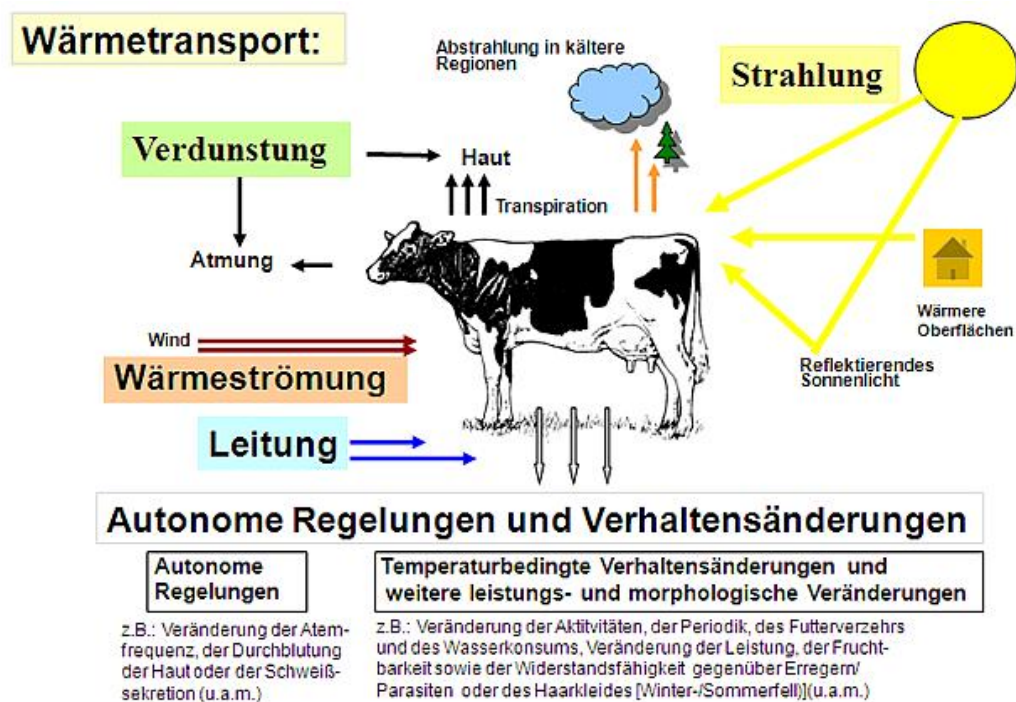


Abbildung 4: Möglichkeiten der Wärmeabgabe beim Rind (BRADE, 2013)

Die trockene Wärmeabgabe umfasst die Konduktion, die Konvektion und die Radiation (Abbildung 4). Bei der Konduktion oder Leitung kommt es zu einer direkten Energieübertragung aus wärmeren in kältere Schichten, also beispielsweise vom liegenden Tier an einen kühleren Untergrund,

aber auch umgekehrt (JESSEN, 2000; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Diese ist abhängig von der Größe der effektiv wirksamen Kontaktfläche, der Temperatur der Körperoberfläche sowie der Temperatur, der Wärmeleitfähigkeit und dem Speichervermögen der Kontaktfläche auf Umweltseite (TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012). Bei der Konvektion übernimmt ein Medium wie Luft oder Wasser die Wärme und transportiert diese ab. Diese Form der Wärmeabgabe ist jedoch abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen dem Medium und der Körperoberfläche sowie von der Größe der effektiv wirksamen Körperoberfläche und kann beispielsweise durch Erhöhung der Luftgeschwindigkeit ($> 0,2 \text{ m/s}$) unterstützt werden (NICHELMANN, 1971; BLUM, 2003; JESSEN, 2005; TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012). Sowohl bei der Wärmeabgabe durch Konvektion, als auch durch Konduktion hat die auf der Haut aufliegende Grenzschicht einen besonderen Einfluss auf die Wärmeabgabe, da die Wärme durch diese Schicht hindurch konduktiv transportiert wird (LYHS, 1971; NICHELMANN, 1971). Dabei ist die Anordnung der Blutgefäße entscheidend. Arterielle und venöse Anteile des Plexus liegen eng nebeneinander, so dass es zum Wärmeaustausch im Gegenstromprinzip kommt, das heißt arterielles Blut wird durch kühleres venöses Blut aus den Akren abgekühlt. Man spricht hier von den Venae comitantes (NICHELMANN, 1971; JESSEN, 2005). Beim dritten Weg der trockenen Wärmeabgabe, der Strahlung oder Radiation erfolgt die Wärmeabgabe über langwellige ($5 - 20 \mu$) Infrarotstrahlen (LYHS, 1971; BLUM, 2003; JESSEN, 2005; RÖßNER et al., 2005). Sie wird durch die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Teile, der Körperoberflächentemperatur der Kuh sowie von der Größe der effektiv strahlenden Fläche beeinflusst (TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012). Diese Form der Wärmeabgabe ist stoffunabhängig, somit von jedem Transportmedium entkoppelt und immer vorhanden auch wenn zwischen den Körpern keine Temperaturdifferenz besteht (RÖßNER et al., 2005). In geschlossenen Räumen steht der langwelligen Wärmeabstrahlung von der Oberfläche eines Tieres eine Wärmeeinstrahlung gegenüber, die von der Strahlungstemperatur der Wände, ihrer Emissionszahl und der Größe der für den Wärmeaustausch zwischen Tier und Raum beteiligten Flächen, abhängig ist (LYHS, 1971; PENZLIN, 2005; RÖßNER et al., 2005; BERMAN und HOROVITZ, 2012).

Für geschlossene Räume ergibt sich dabei, aufgrund der Stefan – Boltzmann - Konstante, eine Wärmeabgabe von ca. 5 W/m^2 Körperoberfläche, bei einer Temperaturdifferenz von 1 °K zwischen Fell und umgebender Wandfläche (JESSEN, 2000). BERMAN und HOROVITZ (2012) geben an, dass die Änderung der Körperoberflächentemperatur einer Kuh um 1 °K eine Änderung des Strahlungsgleichgewichtes von $6,5 \text{ W/m}^2$ bedingen würde. Im Freien hingegen kann der Wärmeabgabe über langwellige Infrarotstrahlen eine erhebliche Wärmeaufnahme über kurzwellige ($0,3 - 3 \mu$) solare Strahlung gegenüberstehen. Diese wird jedoch aufgrund der Reflexion, z.B. bei weißem Fell, nur teilweise absorbiert (JESSEN, 2000; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Der Unterschied zwischen Lufttemperatur und Strahlungstemperatur hängt dabei von der Intensität der Sonneneinstrahlung, dem Grad der Bewölkung, der Luftgeschwindigkeit, der Deckenhöhe im Stall, den thermalen Eigenschaften des Daches, dem Schattenbereich und der durchschnittlichen Bodentemperatur ab (BERMANN, 2005).

Mit zunehmender Umgebungstemperatur sinkt der Temperaturgradient zwischen Haut und Umgebung, was ab etwa 20 °C die Grenze der trockenen Wärmeabgabe darstellt und hin zu feuchter Wärmeabgabe führt (LYHS, 1971; NICHELMANN, 1971; Abbildung 5).

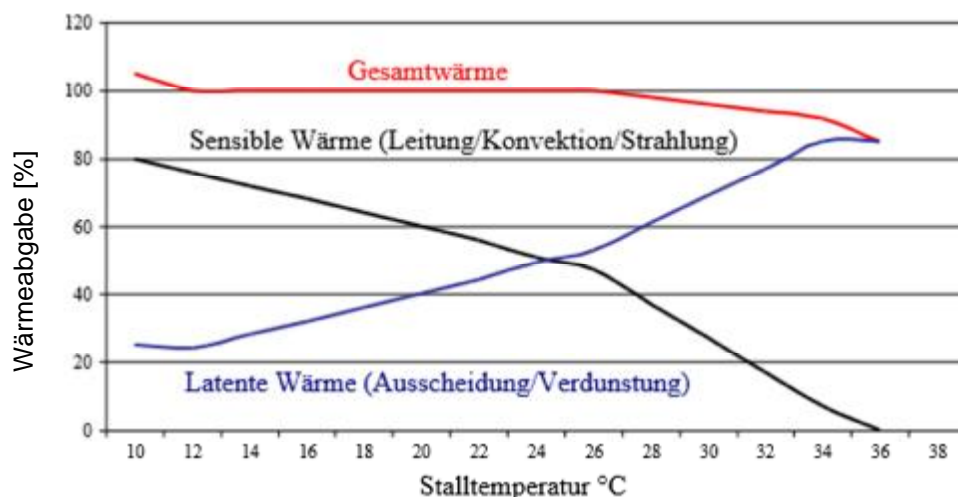


Abbildung 5: Veränderung der Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Stalltemperatur (nach STRØM und FEENSTRA, 1980 und SANKER, 2012)

Die feuchte Wärmeabgabe oder Evaporation geschieht zum einen durch Perspiratio insensibilis, dem unmerklichen Verdunsten von Wasser über Haut, Schleimhaut oder Lungenbläschen, einem rein physikalischen Vorgang, der unabhängig von der Umgebungstemperatur ist und vom Tier nicht modifiziert werden kann. Des Weiteren über Verdunstung von Feuchtigkeit auf der Haut (Schwitzen, ca. 60 % der feuchten Wärmeabgabe beim Rind) beziehungsweise über die Atemwege (forcierte Atmung, Hecheln, ca. 40 % der feuchten Wärmeabgabe beim Rind) (NICHELMANN, 1971; JESSEN, 2000; BLUM, 2003; BERMAN, 2005; JESSEN, 2005). Die Verdunstungskühlung ist relativ unabhängig von der Lufttemperatur, jedoch muss hier der Wasserdampf-Partialdruck auf der Haut bzw. der Schleimhaut höher sein als in der umgebenden Luft (JESSEN, 2000; JESSEN, 2005; TOBER et al., 2011). Die evaporative oder latente Wärmeabgabe wird in erster Linie durch den Anstieg der Körperkerntemperatur geregelt, aber auch ein Anstieg der Hauttemperatur kann diese beeinflussen (JESSEN, 2005). Die Verdampfungswärme des Wassers bei der Evaporation entspricht dabei 2400 kJ je kg Wasser (JESSEN, 2000). Ein Rind besitzt im Durchschnitt 760 Schweißdrüsen pro cm² Hautoberfläche. Dabei handelt es sich ausschließlich um apokrine Drüsen. Die Schweißdrüsen beim Rind finden sich vermehrt im Bereich des Schulterblattes. Distal des Karpal- und Tarsalgelenkes sowie am Schwanz sind keine Schweißdrüsen vorhanden (NICHELMANN, 1971). Zudem finden sich Schweißdrüsen beim Rind nur auf der behaarten Haut (BLUM, 2003). Die Menge des sezernierten Schweißes steigt mit zunehmendem Alter, jedoch haben die Schweißdrüsen beim Rind im Allgemeinen, verglichen mit anderen Tierarten wie Pferden, eine eher geringe Leistung, da sie schlecht mit Blut versorgt werden. Einen Einfluss auf die Sekretion der Drüsen haben ein steigender Adrenalinspiegel, da die Schweißdrüsen adrenergisch sind, sowie die Reizung innerer und äußerer Thermorezeptoren und die Strahlungsenergie (NICHELMANN, 1971). Während NICHELMANN (1971) angibt, dass im Schweiß eines Rindes nur geringe Konzentration an Natrium, Kalium und Chlor zu finden sind, spricht BLUM (2003) von einem hohen Kaliumgehalt im Schweiß von Wiederkäuern. Bei der feuchten Wärmeabgabe über die Atemluft kommt es bei forcierter Atmung zu einer Erhöhung der Ventilation des Totraumes, wobei die alveoläre Venti-

lation und somit der CO_2 -Partialdruck konstant bleiben (BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Steigt jedoch die alveoläre Ventilation durch Hecheln bei schwerer Wärmebelastung an, kann es zu einer vermehrten Abatmung von CO_2 kommen und in dessen Folge zu einer respiratorischen Alkalose, die das Tier zusätzlich belastet (JESSEN, 2000). Auch der Energieaufwand erhöht sich bei schnellem Atmen um etwa sieben Prozent, während er bei starkem Hecheln bis zu 25 % über dem Erhaltungsbedarf liegen kann (BLUM, 2003). Die Evaporation wird vor allem durch einen hohen Wasserdampfgehalt der Luft, insbesondere in Verbindung mit hohen Umgebungstemperaturen (schwül – warm) enorm eingeschränkt und die Grenzen der Regelung sind bereits bei leichter Belastung erreicht (JESSEN, 2005). Jedoch kann die Verdunstungsrate enorm von der Windgeschwindigkeit beeinflusst werden (LYHS, 1971; BERMAN, 2005; Tabelle 5).

Tabelle 5: Einflussgrößen auf den Wärmetransport zwischen Tier und Umwelt (nach BLUM, 2003)

Art der Wärmeabgabe	Tier	Umgebung
Radiation (Strahlung)	Mittlere Strahlungstemperatur der Oberfläche; Reflexion; Emission	Mittlere Strahlungstemperatur; Sonnenstrahlung; Reflexion
Konvektion (Strömung)	Oberflächentemperatur; Fläche für Konvektion; Art der Oberfläche	Lufttemperatur; Windgeschwindigkeit; Windrichtung
Konduktion (Leitung)	Oberflächentemperatur; Kontaktfläche	Bodentemperatur; Wärmeleitfähigkeit; Wärmekapazität
Evaporation (Verdunstung)	Benetzungsgrad der Hautoberfläche	Windgeschwindigkeit; Windrichtung

Ziel der Wärmeabgabe ist vor allem das Gehirn kühl zu halten, da hier kleinste Temperaturänderungen weitreichende Folgen haben können. Die natürliche Hirnkühlung bei Wärmebelastung erfolgt durch das Rete mirabile, einem Ast der Arteria maxillaris im Sinus cavernosus. Hier findet ein Wärmeaustausch zwischen dem kühlen venösen Blut aus dem Nasen-

Rachenraum und dem wärmeren arteriellen Blut das zum Gehirn strömt statt (JESSEN, 2000; JESSEN, 2005).

3. Hitzestress

Gerät die Thermoregulation eines Rindes an ihre Grenzen, so tritt eine Belastung durch Hitzestress ein. Wie Hitzestress entsteht, zu erkennen ist und wie ihm entgegengewirkt werden kann, soll im folgenden Abschnitt dargestellt werden.

3.1. Definition Hitzestress

Die angesprochene thermoneutrale Zone einer Milchkuh liegt zwischen vier und 16 °C (HEIDENREICH et al., 2005; BRADE, 2013; TOBER und LOEBSIN, 2013). Wie Tabelle 6 zeigt, sind in der Literatur zu den Grenzen der thermoneutralen Zone unterschiedliche Angaben zu finden.

Tabelle 6: Angaben zu den Grenzen der thermoneutralen Zone bei Milchkühen in der Literatur

Temperaturbereich thermoneutrale Zone Milchkuh [°C]	Quelle
+4 bis +16	HEIDENREICH et al., 2005
+5 bis +20	DUSSERT und PIRON, 2012
+2 bis +21	ALBRIGHT und ARAVE, 1997
+4 bis +20	BRADE, 2013
0 bis +15	BVET, 2009; FIEDLER et al., 2012

Oberhalb dieses Temperaturbereiches beginnt die Kuh mithilfe physiologischer Regelmechanismen über sensible oder evaporative Wege die überschüssige Körpertemperatur an die Umgebung abzugeben. Sind jedoch bestimmte Grenzen der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte überschritten, kann die von der Kuh erzeugte Stoffwechselwärme nicht mehr in ausreichendem Maße bzw. nur noch durch erhöhte physiologische und unterstützende Verhaltensreaktionen an die Umgebung ab-

gegeben werden. Es entsteht eine Belastungssituation für das Tier, die als Hitzestress bezeichnet wird (ARMSTRONG, 1994; DUSSERT und PIRON, 2012). Ab welchem Zeitpunkt eine Hitzestresssituation entsteht ist neben der Lufttemperatur und den tierbezogenen Faktoren wie Milchleistung, Alter, Trächtigkeitsstadium auch von weiteren Klimafaktoren abhängig (BERMAN, 2005; COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; MAČUHOVÁ et al., 2008; TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012; VAN LAER et al., 2014). Zu diesen gehören die relative Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit, aber auch die direkte Wärmeeinstrahlung durch die Sonne oder umgebende Bauteile.

Trotz des tierindividuellen Einflusses ab wann Hitzestress auftritt, hat die züchterische Selektion auf Hochleistungstiere in den letzten Jahrzehnten dazu beigetragen, die Sensitivität gegenüber Hitze zu erhöhen (VAN LAER et al., 2014). Dies führt dazu, dass die Schwelle, ab der die Tiere unter Hitzestress leiden, sinkt und auch in gemäßigten Klimazonen das Risiko für das Auftreten von Hitzestress steigt (DUSSERT und PIRON, 2012; VAN LAER et al., 2014).

MAČUHOVÁ et al. (2008) geben an, dass bereits ab Temperaturen über 25 °C die Wärmeabgabe für das Tier beinahe unmöglich ist. Auch bei BERMAN et al. (1985) beträgt die obere kritische Temperatur 25 – 26 °C, unabhängig von der Milchmenge oder der Akklimatisierung. DIKMEN und HANSEN (2009) sehen als obere kritische Temperatur 28,4 °C, da bei höheren Umgebungstemperaturen mit dem Auftreten einer Hyperthermie zu rechnen wäre. GAUGHAN et al. (2008) weisen jedoch darauf hin, dass Schwellenwerte als klimatische Werte definiert sind, die eine Reaktion erzeugen und somit nicht einer exakten Lufttemperatur zuzuordnen sind.

Das Ausmaß des Hitzestresses definieren DIKMEN und HANSEN (2009) als die Summe externer Kräfte, die auf ein Tier einwirken und die Körpertemperatur vom Sollwert weg verschieben. Für BERMAN (2005) liegt der Schwellenwert für mittleren Hitzestress bei Umweltbedingungen, bei denen der Wärmeverlust über die Atmung etwa 50 % seines Maximalwertes erreicht hat.

3.2. Hitzestress – Indikatoren

Um ihre Körpertemperatur bei beginnender Hitzestressbelastung konstant zu halten, passen sich die Tiere dieser Belastungssituation auf unterschiedliche Weise an. Diese Anpassungen können morphologischen (Haarwachstum, subkutane Fetteinlagerung), physiologischen (Schwitzen, Hecheln, Zittern, Änderung von Stoffwechsel, Futteraufnahme, Leistung) oder ethologischen (Wahl Liege- / Stehplatz, Aktivität, Liegeverhalten) Ursprungs sein (MAČUHOVÁ et al., 2008). Dabei reagieren Milchkühe sehr individuell und es lassen sich verschiedene Typen in den Anpassungsstrategien unterscheiden (ARMSTRONG, 1994; TOBER et al., 2011). Daher kann die „Diagnose“ Hitzestress entweder anhand von Tierbeobachtungen oder aber über Umgebungskennzeichen gestellt werden (DUSSERT und PIRON, 2012).

Erste Hitzestressanzeichen sind eine erhöhte Atemfrequenz, ein Anstieg der Körpertemperatur, eine sinkende Futteraufnahme bei gleichzeitig steigender Wasseraufnahme und eine Verringerung der Liegezeit (ARMSTRONG, 1994; HEIDENREICH et al., 2005; PACHE et al., 2005; MAČUHOVÁ et al., 2008; TOBER et al., 2011; DUSSERT und PIRON, 2012; LOEBSIN et al., 2012; BRADE, 2013).

Die **Atemfrequenz** scheint der geeignetste Hitzestressindikator zu sein, da sie bereits bei leichtem Hitzestress beeinflusst wird und einfach, ohne teures Equipment, zu überwachen ist (WILLIAMS et al., 1960; BROWN-BRANDL et al., 2005). Zudem steigt die Atemfrequenz als Reaktion auf Hitzestress unmittelbar bzw. nur mit geringerer Verzögerungszeit an (BROWN-BRANDL et al., 2005; TUCKER und SCHÜTZ, 2009). Laut BERMAN (2005) und ZIMBELMAN (2008) erlaubt eine Atemfrequenz von 70 – 90 Atemzüge/min einen Hinweis auf Hitzestress. HEIDENREICH et al. (2005) geben an, dass bei leichtem Hitzestress eine Atemfrequenz von über 80 Atemzüge pro Minute zu beobachten ist. Bei starkem Hitzestress kann sie durch Hecheln auf über 160 Atemzüge pro Minute ansteigen. Auch hier ist eine tierindividuelle Reaktion zu beachten (JONES und BROWN-BRANDL, 2013). Die Messung der Atemfrequenz ermöglicht es jedoch, Maßnahmen zur Linderung von Hitzestress einzuleiten, bevor es zu einem signifikanten Anstieg der Körpertemperatur und der damit ver-

bundenen Beeinflussung der normalen Körperfunktion kommt (BERMAN, 2005).

Ein weiterer sicherer Indikator für eine bestehende Hitzestressbelastung die nicht vollständig ausgeglichen werden kann, ist nach BRADE (2013) der Anstieg der **Körperkerntemperatur**. So verzeichnete KLEIN (1984) bei Schwarzbunten Rindern bei einer Umgebungstemperatur von 28 °C einen Anstieg der Körperkerntemperatur um 0,5 °C. AUERNHAMMER (1995) spricht von einer Verschiebung des Temperaturniveaus der Körperkerntemperatur um bis zu 0,8 °C nach oben bei hohen Umgebungstemperaturen. Jedoch tritt die Änderung der Körpertemperatur eine bis fünf Stunden zeitverzögert zur Änderung der Umgebungstemperatur auf und ist abhängig von den Umgebungsbedingungen (BROWN-BRANDL et al., 2005).

Auch eine **Änderung des Verhaltens** lässt sich bei Hitzestress beobachten. So stehen die Tiere vermehrt (BERMAN, 2005; TUCKER und SCHÜTZ, 2009). TUCKER und SCHÜTZ (2009) gaben an, dass die Kühe um 10 % mehr Zeit stehend verbrachten, wenn die Wärmebelastung bei einem THI von 60 bis 70 um 15 % anstieg. Grund hierfür dürfte sein, dass die Tiere im Stehen ihre Körperwärmeabgabe erhöhen können, da eine größere Körperoberfläche zur Wärmeabgabe über Konvektion zu Verfügung steht (ALBRIGHT und ARAVE, 1997; TUCKER und SCHÜTZ, 2009). Die ausschließliche Beurteilung der Liegezeiten kann jedoch nicht als alleiniger Parameter zur Beurteilung einer Hitzestressbelastung bei Kühen dienen, da das Liegeverhalten neben dem Stallklima von weiteren Faktoren wie der Beschaffenheit der Liege- und Laufflächen und der Belegungsdichte im Stall abhängig ist (MAČUHOVÁ et al., 2008).

3.3. Temperature – Humidity – Index

Um adäquate Komfortzonen für verschiedene domestizierte Tierarten zu charakterisieren und zu quantifizieren, wurden thermale Komfortkennzahlen entwickelt. Bei diesen Kennzahlen handelt es sich um Funktionen mit korrelierten Variablen, die es ermöglichen die resultierende Umwelt zu einem bestimmten Zeitpunkt darzustellen. Die thermalen Komfortzonen können durch biophysische, physiologische und subjektive Kenn-

zahlen klassifiziert werden. Die biophysischen Kennzahlen basieren auf dem thermalen Austausch zwischen dem Tierkörper und der Umwelt, bezogen auf die spezifischen Tierkomfort-Elemente. Den physiologischen Kennzahlen liegen die physiologischen Reaktionen der Tiere bezogen auf die als ideal anzusehenden Umweltbedingungen zu Grunde, während bei den subjektiven Kennzahlen spezifische und subjektive Versuchsdaten hinsichtlich Temperaturempfindungsreaktion und Produktion als Grundlage dienen (CIGR-BERICHT, 2006).

Zu den letztgenannten Kennzahlen gehört der Temperatur – Luftfeuchte Index (Temperature – Humidity Index, THI), der 1958 von THOM entwickelt wurde, um das thermale Wohlbefinden des Menschen abzuschätzen. 1964 wurde der THI von BERRY et al. auf Rinder übertragen. Anfang der 1990er Jahre teilte das Livestock Conservation Institute die THI – Werte in keine, milde, moderate oder schwere Hitzestressbelastung für Rinder ein (CIGR-BERICHT, 2006; COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; ZIMBELMAN, 2008). In Abbildung 6 ist die Tabelle zur Abschätzung der Hitzestressbelastung anhand des vorliegenden THI Wertes nach Thom (1958 und 1959) zu sehen. Diese Einteilung der Grenzwerte für Hitzestress wurde und wird in der Literatur und auch in der Praxis zur Beurteilung des Schweregrades der Hitzestressbelastung eingesetzt (ARMSTRONG, 1994; BERMAN, 2005; HEIDENREICH et al., 2005; DIKMEN und HANSEN, 2009; DUSSERT und PIRON, 2012).

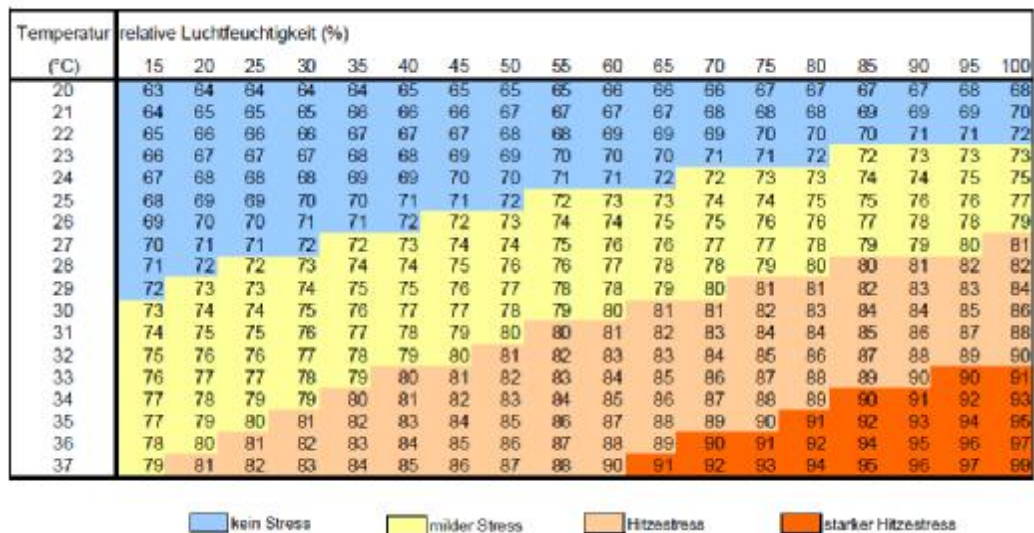


Abbildung 6: Temperatur – Luftfeuchte Index (THI) „alt“ (nach THOM, 1958 und 1959)

ZIMBELMAN (2008) betrachtete diese Grenzwerte näher und stellte fest, dass sie nicht mehr auf die Belastungen der aktuellen Milchleistungen anwendbar sind. Daher setzte sie neue Grenzwerte fest und senkte den Schwellenwert für den Beginn von Hitzestress ab. Abbildung 7 zeigt den TH – Index mit den neuen Grenzwerten. Sie bilden die Stressbelastung heutiger Milchkühe besser ab und zeigen, dass bereits bei niedrigen Temperaturen und einer geringen relativen Luftfeuchte eine Hitzestressbelastung für das Tier auftritt, was einer aktuellen höheren Milchleistung und somit der höheren Stoffwechselleistung und der damit anfallenden höheren Körperwärmeproduktion geschuldet ist (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; ZIMBELMAN et al., 2009; COLLIER et al., 2012; DUSSERT und PIRON, 2012).

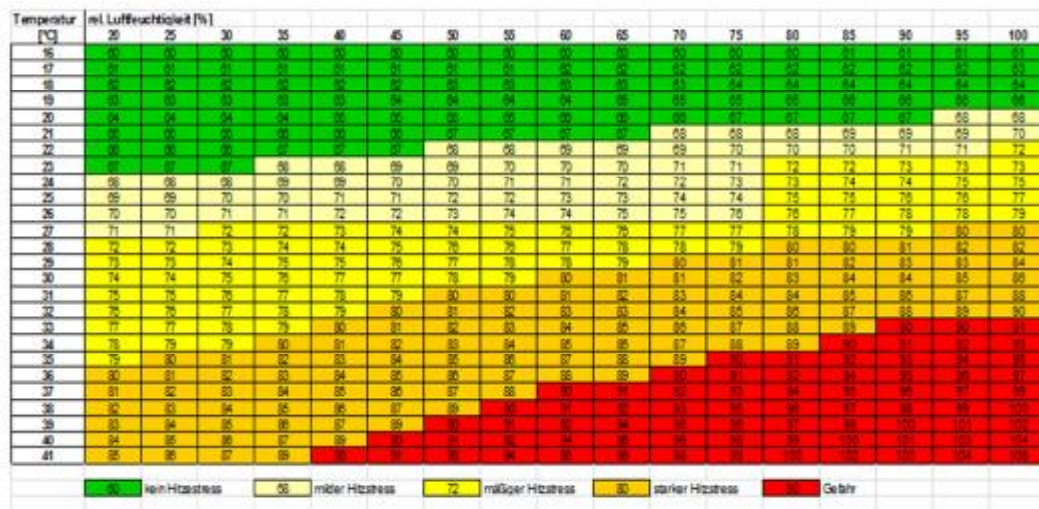


Abbildung 7: Temperatur - Luftfeuchte Index (THI) „neu“ (nach COLLIER et al., 2012)

Wie Tabelle 7 zeigt, wurden über die Jahre verschiedene Methoden zur Berechnung des THI entwickelt, durch Einsatz der Dry Bulb - Temperatur in Kombination mit der Wet Bulb – Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit oder dem Taupunkt (Dew Point) (GAUGHAN et al., 2008; DIKMEN und HANSEN, 2009).

Tabelle 7: Verschieden Formeln zur Berechnung des THI (nach DIKMEN und HANSEN, 2009)

THI -Formel	Quelle
$THI = [0,4 \cdot (T_{db} + T_{wb})] \times 1,8 + 32 + 15$	Thom, 1959
$THI = (0,35 \times T_{db} + 0,65 \times T_{wb}) \times 1,8 + 32$	Bianca, 1962
$THI = (0,15 \times T_{db} + 0,85 \times T_{wb}) \times 1,8 + 32$	Bianca, 1962
$THI = (1,8 \times T_{db} + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times RH) \times (1,8 \times T_{db} - 26,8)]$	NRC, 1971
$THI = (0,55 \times T_{db} + 0,2 \times T_{dp}) \times 1,8 + 32 + 17,5$	NRC, 1971
$THI = (T_{db} + T_{wb}) \times 0,72 + 40,6$	NRC, 1971
$THI = T_{db} + 0,36 \times T_{dp} + 41,2$	Yousef, 1985
$THI = (0,8 \times T_{db}) + [(RH / 100) \times (T_{db} - 14,4)] + 46,4$	Mader et al., 2006

T_{db} = dry bulb Temperatur [°C]; T_{wb} = wet bulb Temperatur [°C]; T_{dp} = dew point Temperatur [°C]; RH = relative Luftfeuchtigkeit [%]

Ein Problem beim Einsatz des Temperature-Humidity-Index ergibt sich aufgrund der ursprünglichen Studie zur Erstellung des THI, in der die Tiere kontinuierlichen Klimabedingungen ausgesetzt waren. Unter Praxisbedingungen schwankt der THI während des Tages jedoch, da sowohl die Lufttemperatur als auch die relative Luftfeuchtigkeit steigen und fallen können (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007). Daher untersuchten COLLIER und ZIMBELMAN (2007), ob in der Praxis der maximale, der minimale oder der Tagesdurchschnitts – THI am besten geeignet ist um Hitzestress abzuschätzen. Sie fanden heraus, dass der Tagesdurchschnitts – THI zwei Tage zuvor den größten Einfluss auf die Futteraufnahme und die Milchleistung eines Tages hatte.

Ebenfalls ist bei Anwendung des THI zu beachten, dass dieser weder den Einfluss des Felles noch der Luftgeschwindigkeit oder Strahlung hinsichtlich der Wärmebelastung für das Rind berücksichtigt (BERMAN, 2005; COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; GAUGHAN et al., 2008; MAČUHOVÁ et al., 2008; ZIMBELMAN et al., 2009; FIEDLER et al., 2012). Auch Management oder Tierfaktoren wie Rasseunterschiede werden nicht beachtet (GAUGHAN et al., 2008).

BUFFINGTON et al. (1981) stellten fest, dass eine genaue Zusammenstellung der Umweltbedingungen, bei denen Hitzestress auftritt, schwierig, wenn nicht gar unmöglich für eine Tierart zu spezifizieren ist, da gravierende Unterschiede zwischen Individuen auf Grundlage der Rasse, des Geschlechts, des Alters, dem Laktations- und Trächtigkeitsstadium und vorheriger Hitzestressexposition bestehen. Sie modifizierten den THI durch Nutzung der Black-Globe-Temperatur anstelle der Lufttemperatur. Hier wird mit einem Schwarzkugelthermometer neben der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit auch die Radiation und die Luftgeschwindigkeit erfasst, da diese vier Haupt-Klimaparameter die effektive Temperatur beeinflussen. Daraus entwickelte sich der Black-Globe-Humidity Index (BGHI), der sich anhand folgender Formel berechnen lässt (BUFFINGTON et al., 1981; BERMAN, 2005):

$$\text{BGHI} = T_{\text{bg}} + 0,36 \times T_{\text{dp}} + 41,5$$

(T_{bg} = Black-Globe Temperatur, T_{dp} = Dew-Point Temperatur).

Es zeigte sich zwar, dass der BGHI umso stärker vom THI abweicht, je stärker die Sonneneinstrahlung und je höher die Windgeschwindigkeit ist (BUFFINGTON et al., 1981; ZIMBELMAN et al., 2009). Jedoch konnten weder BUFFINGTON et al. (1981) noch ZIMBELMAN et al. (2009) in ihren Studien zeigen, dass im Stall der BGHI besser geeignet wäre als der THI, um Hitzestress darzustellen. Zudem lässt sich die Lufttemperatur in der Praxis leichter erfassen als die Black-Globe Temperatur (BRADE, 2013).

3.4. Folgen von Hitzestress

Effekte der Hitzebelastung hängen unter anderem von den herrschenden Klimafaktoren und vor allem von der Dauer der Belastung ab (KLEIN, 1984). Die Folgen sind dabei vielgestaltig, von keinem bzw. nur geringem Effekt bei kurzer Hitzeexposition bis hin zum Tod der Tiere bei extremer Hitzebelastung (BROWN-BRANDL et al., 2005; ZIMBELMAN, 2008; COLLIER et al., 2012; Tabelle 8).

Leiden Kühe unter Hitzestress, versuchen sie ihre körpereigene Wärmeproduktion zu verringern. Da die **Wärmeproduktion** in erster Linie durch die Pansenfermentation bedingt ist, reduziert sich die aufgenommene Futtermenge, die Wiederkautätigkeit nimmt ab und die Zeiten der Futteraufnahme werden in die kühleren Abend- und Nachtstunden verlagert. Zudem wählen die Kühe vermehrt das Futter, das weniger Wärme bei der Verdauung produziert, wie Getreide und Protein anstelle von Grünfutter (BROWN-BRANDL et al., 2005; DUSSERT und PIRON, 2012). Es kommt somit zu einer abnehmenden Strukturwirksamkeit der Ration und die Gefahr einer (subklinischen) Pansenazidose besteht (VAN LAER et al., 2014; YOON, 2014). ZIMBELMAN et al. (2009) und COLLIER et al. (2012) gaben an, dass der Tagesdurchschnitts - THI zwei Tage vor Rückgang der Futteraufnahme den größten Zusammenhang zeigte.

Tabelle 8: Folgen von Hitzestress in Abhängigkeit der Belastungsintensität (nach COLLIER et al., 2012)

THI	Stressniveau	Symptome
Unter 68	Kein Hitzestress	
68 – 71	Milder Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> – Aufsuchen von Schattenplätzen – Erhöhte Atemfrequenz (> 60 Atemzüge/min) – Erweiterung der Blutgefäße – Erhöhte Körpertemperatur (> 38,5 °C) – Erste Auswirkungen auf die Milchleistung
72 – 79	Mäßiger Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhte Speichelproduktion – Erhöhte Atemfrequenz (> 75 Atemzüge/min) – Erhöhte Herzfrequenz – Erhöhte Körpertemperatur (> 39,0 °C) – Rückgang der Futteraufnahme – Erhöhte Wasseraufnahme – Rückgang der Milchproduktion – Rückgang der Fruchtbarkeit
80 – 89	Starker Hitzestress	Unwohlsein aufgrund ansteigender Symptome <ul style="list-style-type: none"> – Atemfrequenz > 85 Atemzüge/min – Körpertemperatur > 40°C
Über 90	Gefahr	Auftreten von Todesfällen

Die **Reduktion der Milchproduktion** resultiert sowohl aus einer verminderten Futteraufnahme und somit Energiezufuhr, als auch aus Änderungen im endokrinen Profil und im Energiestoffwechsel sowie weiteren bisher unbekannten Faktoren (DUSSERT und PIRON, 2012). Ein Absinken der Milchproduktion ist jedoch erst mit zwei bis drei Tagen Verzögerung nach Absinken der Futteraufnahme festzustellen (HEIDENREICH et al., 2005). Andere Quellen gehen von einem Absinken der Milchmenge etwa 14 bis 48 Stunden nach einem Hitzestressereignis aus (COLLIER und ZIMBELMAN, 2005; ZIMBELMAN et al., 2009). Dann jedoch kann es pro

erhöhter THI Einheit zu einer geschätzten Milchmengenreduktion von 0,32 kg kommen (WEST, 2003), d.h. bei 10 – 15 THI Punkten mehr sinkt die Milchmenge um etwa drei bis fünf Kilogramm. Laut ST-PIERRE et al. (2003) kommt es zu einem Milchabfall zwischen 10 und 35 %. ZIMBELMAN et al. (2009) weisen darauf hin, dass bei einem Milchabfall über 48 Stunden oder mehr ein Rückgang der Laktationspersistenz zwei Wochen später auftritt.

Neben der Milchmenge sinken auch die Inhaltsstoffe Milchfett und Milcheiweiß (MAČUHOVÁ et al., 2008; TOBER et al., 2011; ZIMBELMAN, 2008; COLLIER et al., 2012). Der Abfall des Milchfettgehaltes ist dabei bedingt durch Änderungen im Pansen, die während einer Hyperthermie auftreten. Dabei kann ein verringerter Pansen-pH Wert die Bakterien, die für die Bereitstellung der Fettsäuren verantwortlich sind hemmen und gleichzeitig die Konzentration an Lipopolysacchariden erhöhen. Beides bedingt eine Unterdrückung der Milchfettsynthese im Eutergewebe (YOON, 2014).

Die **Wasseraufnahme** der Tiere steigt auf bis zu 150 Liter pro Tier und Tag (HUBER, 1996; KECK et al., 2004; BRADE, 2013), da hier neben dem Ausgleich des erhöhten Wasserverlustes durch evaporative Wärmeabgabe ein Kühleffekt durch das Absenken der Pansentemperatur erreicht wird.

Können die Tiere ihre stoffwechselbedingte Wärme nicht mehr in ausreichendem Maße an die Umwelt abgeben, steigt die Körpertemperatur der Tiere an, auch über die physiologische Obergrenze von 39,0 °C. Dabei handelt es sich nicht um Fieber, sondern um eine **Hyperthermie**, also eine Erhöhung der Körpertemperatur ohne Sollwertverstellung. Der Anstieg der Körpertemperatur folgt dabei der Erhöhung des THI, mit zeitlicher Verzögerung. HILLMAN et al. (2001) beobachteten bei liegenden Tieren eine starke Zunahme der Körpertemperatur, da den Kühen weniger Körperoberfläche für konvektive oder evaporative Kühlung zur Verfügung stand. Auch die Erhöhung der Körpertemperatur kann zu einem Absinken der Milchproduktion beitragen. So spricht WEST (2003) von einer Reduzierung der produzierten Milchmenge um 1,8 kg bei Erhöhung der Körpertemperatur um 0,55 Kelvin.

Neben dem Anstieg der Körpertemperatur erhöht sich auch die **Atemfrequenz** von physiologischen 10 – 30 Atemzügen/min auf zum Teil über 100 Atemzüge pro Minute. Die Erhöhung der Atemfrequenz dient dabei einer vermehrten Abgabe von Wärme durch Evaporation (HEIDENREICH et al., 2005). Die erhöhte Atemfrequenz kann durch vermehrtes Abatmen von CO₂ und somit einer Verschiebung des Puffergleichgewichtes mit einem vermehrten Verbrauch an H⁺ als Säure, zu einer respiratorischen Alkalose führen (WEST, 2003; BRADE, 2013). Diese Alkalose kann über eine erhöhte Bikarbonatausscheidung über den Harn ausgeglichen werden, wobei hier das Auftreten einer kompensatorischen Azidose möglich ist (WEST, 2003; VAN LAER et al., 2014; YOON, 2014).

Bei einer Hitzebelastung kommt es durch die Wärmeregulation über eine erhöhten evaporative Kühlung in Form von Schwitzen und einer erhöhten Atemfrequenz zu einer **Erhöhung des Erhaltungsbedarfs** (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; DUSSERT und PIRON, 2012). Der Energiebedarf einer Kuh erhöht sich daher schon bei mildem Hitzestress um 7 %, bei schwerem Hitzestress sogar um bis zu 25 % (VAN LAER et al., 2014) oder 30 % (MORRISON, 1983). Im Zusammenhang mit einer reduzierten Futter- und somit Energieaufnahme steigt die Gefahr einer negativen Energiebilanz und es steht weniger Energie zur Milchproduktion zur Verfügung.

Das **Verhalten** der Tiere ändert sich ebenso als Folge von Hitzestress. So sinkt die Dauer der Liegeperioden während heißer Tage, bei gleichzeitig erhöhter Periodenanzahl, da liegende Tiere zunehmend Probleme haben ihre Körpertemperatur ausreichend zu regulieren (TOBER et al., 2011). Zeitgleich steigt die lokomotorische Aktivität der Kühe an, da sie aktiv eine thermisch weniger belastete Umwelt aufsuchen. Eine Folge der häufigeren Liegeunterbrechung und der erhöhten Aktivität ist eine höhere Unruhe im Stall (TOBER et al., 2011). Dabei ist auch eine Konzentration der Tiere um das Tränkebecken festzustellen. Zum einen, um die Wasseraufnahme während Hitzestressperioden zu erhöhen, zum anderen scheint hier ein kühleres Mikroklima aufgrund der Verdunstungskälte zu herrschen (TUCKER und SCHÜTZ, 2009; FIEDLER et al., 2012).

Generell erhöht Hitzestress durch seine Stressreaktion die Produktion freier Radikale und führt zu oxidativem Stress, der wiederum einen negativen Einfluss auf die Immun- und Reproduktionsfunktion hat (DUSSERT und PIRON, 2012).

Im Bereich der **Reproduktion** sind als Folgen von Hitzestress eine schlechtere Fruchtbarkeit mit weniger stark ausgeprägten Brunstsymptomen und einer verkürzten Brunstdauer sowie eine erhöhte embryonale Sterblichkeit bzw. Abortrate zu beobachten (KLEIN, 1984; BLUM, 2003). Bei jedem Anstieg der uterinen Temperatur um 0,5 °C oberhalb der physiologischen Körpertemperatur von 38,5 °C ist mit einem Rückgang der Konzeptionsrate um 12 % zu rechnen (DIKMEN und HANSEN, 2009). In der Praxis wird dabei laut WEST (2003) immer wieder beobachtet, dass es Wochen dauert, bis sich die Fruchtbarkeit einer Herde nach einer längeren Hitzeperiode normalisiert.

Als gesundheitliche Auswirkung von Hitzestress treten eine Erhöhung der somatischen Zellzahl, vermehrt Mastitiden, eine Zunahme der Inzidenz von Hypokalzämien, Metritiden, Prolaps uteri sowie häufigere Anzeichen von Klauenrehe und ausgeprägten Euterödemen auf (DUSSERT und PIRON, 2012; BRADE, 2013).

Ebenso zeigt sich, dass Hitzestress während der **Trockenstehphase** negative Folgen für die Tiere haben kann. So kann eine Belastung durch Hitze in den letzten drei Monaten ante partum zu einem geringeren Geburtsgewicht der Kälber, zu vermehrten Stoffwechselproblemen während der Transitphase und zu Milchleistungseinbußen in der Folgelaktation führen (TAO und DAHL, 2013).

Eine weitere Folge, gerade bei langandauerndem Hitzestress ist die **Akklimationisation**, die eine phänotypische Reaktion des Tieres auf einen individuellen Stressor innerhalb der Umwelt ist. Nach Wegfall des Stressors gehen die Tiere zum Normalzustand zurück. Es gibt Hinweise auf eine zweiphasige Anpassung an Hitzestress. Zum einen die kurzfristige Anpassung, in der es zu Änderungen innerhalb der zellulären Signalkette kommt, die zu Störungen in der zellulären Homöostase und einer Reprogrammierung der Zellen führen, um den schädlichen Effekten des Hitzes-

tresses entgegenzuwirken. Sie erlauben dem Tier mit steigendem Hitzestress fertig zu werden, bevor weitere Anpassungsprozesse auftreten (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007). Ist die kurzfristige Akklimatisation abgeschlossen, tritt eine langfristige Anpassung an Hitze auf. Dabei wird das Hitzeschockprotein (HSP) 72 exprimiert und eine Milchproduktion auf niedrigerem Niveau als vor dem Hitzestressereignis tritt ein (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007). BERMAN et al. (1985) geben hingegen an, dass die Akklimatisation zu einer höheren Milchleistung bei gegebener Körpertemperatur beziehungsweise zu einer verringerten Körpertemperatur bei gegebener Umgebungstemperatur führen kann. Dabei wird eine vollständige Adaption an konstante Temperaturen nicht innerhalb von neun Wochen bei einer konstanten Exposition erreicht.

Hitzestress kann mit seinen Folgen somit dem Milcherzeuger bis zu 400 € pro Kuh und Jahr kosten, wovon 80 % durch den Produktionsabfall bedingt sind und 20 % auf Gesundheitsprobleme infolge der Immunsuppression entfallen (ST-PIERRE et al., 2003). In den USA wird davon ausgegangen, dass den Milcherzeugern jährliche Kosten von 800 – 900 Millionen US \$ infolge reduzierter Milchmenge und Fruchtbarkeit bei Hitzestress entstehen (TUCKER und SCHÜTZ, 2009; ZIMBELMAN und COLLIER, 2011).

3.5. Maßnahmen zur Verminderung von Hitzestress

Bereits ab Temperaturen über 15 °C muss laut TOBER und LOEBSIN (2013) von einer Situation ausgegangen werden, bei der die Wärmeabgabe der Tiere einer Unterstützung bedarf. Auch ZIMBELMANN et al. (2009) geben an, dass eine Kühlung der Tiere bereits ab einem THI von 65 erforderlich ist, falls der Tagesdurchschnitt des THI bei 68 liegt.

Möglichkeiten zur Minderung von Hitzestress können in vier Bereichen ansetzen: dem Management, der Haltung, der Fütterung und der Züchtung. Auch durch stallbauliche und technische Lösungen lassen sich Hitzestress-Situationen entschärfen (BRADE, 2013).

Auf Seiten des **Managements** spielt vor allem die Fütterung eine zentrale Rolle. Dabei sollte an warmen Tagen die Grundfuttermischung mindestens zweimal täglich oder, wenn dies nicht möglich ist, abends in frisch ge-

mischtem Zustand erfolgen (TVT-MERKBLATT 100, 2010; BRADE, 2013). Um der Gefahr einer Pansenazidose durch einseitige Kraftfutteraufnahme entgegenzuwirken, ist es wichtig, den Grundfutterverzehr der Kühe hoch zu halten. Hier empfiehlt sich der Einsatz einer hochqualitativen, schmackhaften Rohfaserquelle. Um eine ausreichende Energieversorgung sicherzustellen sollte auf pansengeschützte Fette zurückgegriffen werden. Auch der Einsatz von Lebendhefen kann eine Erhaltung beziehungsweise Wiederherstellung der Pansenfunktion sowie eine Verbesserung des Pansen – pH und der Futtereffizienz bewirken. Zudem sollte der erhöhte Mineralstoffbedarf in der Futterr ration berücksichtigt werden, da durch vermehrtes Schwitzen ein erhöhter Verlust an Natrium und Kalium auftritt, welcher das Immunsystem negativ beeinflussen kann (DUSSERT und PIRON, 2012; BRADE, 2013). Daher empfiehlt BRADE (2013) eine Erhöhung des Mineralfutters um 20 % sowie zusätzlich ca. 30 g Viehsalz pro Kuh und Tag. Durch eine erhöhte Aufnahme von Antioxidantien wie Selen oder Vitamin E soll der erhöhten Produktion an reaktivem Sauerstoff entgegengewirkt werden (DUSSERT und PIRON, 2012). Neben der Fütterung ist vor allem die Versorgung mit sauberem Trinkwasser in ausreichender Menge entscheidend, da die Tiere an heißen Tagen bis zu 150 l Wasser aufnehmen können (HUBER, 1996; KECK et al., 2004; BRADE, 2013).

Eine weitere Möglichkeit des Herdenmanagements wäre die Einhaltung einer gezielten Abkalbe- und Besamungspause während der heißen Jahreszeit von Mai bis August. Aufgrund der kontinuierlichen Milchlieferung an die Molkereien lässt sich dies jedoch nicht oder nur in Einzelfällen realisieren (BRADE, 2013).

Hinsichtlich der **Tierzüchtung** ist eine Selektion auf Hitzestresstoleranz anzustreben. Jedoch geht diese einher mit einer geringeren Produktivität. So brauchen Rinderrassen, die gut an eine Hitzebelastung adaptiert sind länger um geschlechtsreif zu werden und haben ein geringeres Milchproduktionsniveau (JOHNSON und VANJONACK, 1976). Es zeigt sich aber, dass Rasseunterschiede bezüglich Hitzestresstoleranz vorhanden sind. So sind Brahmanen und Zebus sowie deren Kreuzungstiere hitzetoleranter als *Bos taurus* Rassen, was sich anhand anatomischer Unterschiede hinsichtlich der Beschaffenheit von Haut, Schweißdrüsen und Haarkleid

äußert (WEST, 2003). Aber auch innerhalb der Bos taurus Rassen zeigen sich Unterschiede. So sind Jersey Kühe toleranter gegenüber Hitzestress als beispielsweise Holstein – Friesian Kühe (RUSHEN et al., 2008). Bereits WILLIAMS et al. (1960) wiesen darauf hin, dass Kühe, die bei hohen Lufttemperaturen noch eine konstante physiologische Körpertemperatur aufweisen, als erstrebenswerter hitzetoleranter Typ gelten.

Um jedoch das Entstehen einer Hitzestresssituation zu vermeiden beziehungsweise hinauszuzögern, sollten aus stallbaulicher Sicht, am besten bereits vor Bewirtschaftung eines Stalles, alle **baulichen Maßnahmen** veranlasst werden, die den natürlichen Luftwechsel steigern und den Wärmeeintrag in den Stall vermindern (TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012). Der optimale Stall für Hochleistungskühe sollte mit seiner Längsachse senkrecht zur vorherrschenden Windrichtung stehen, um eine optimale Querlüftung zu gewährleisten (SHOSHANI und HETZRONI 2013; STÖTZEL, 2016). Die Dachneigung sollte minimiert werden um den solaren Energieeintrag so gering wie möglich zu halten (STÖTZEL, 2016) und auf lichtdurchlässige Platten im Dachbereich sollte verzichtet werden, um ein zusätzliches Aufheizen des Stallbereiches zu vermeiden (LOEBSIN et al., 2012). Ebenso sollten die Liegeflächen nicht direkt von der Sonne bestrahlt werden (KECK et al., 2004). Es sollte drauf geachtet werden, dass eine gute Reflexion, v.a. an der Oberfläche des Stalles sichergestellt wird, ein breiter Dachüberstand zur Beschattung der Außenwände vorhanden ist, der Stall aus wärmespeichernden Materialien gebaut wird und auf der Südseite eine schattenspende Bepflanzung erfolgt (KECK et al., 2004; STÖTZEL, 2016). Bei freier Lüftung ist für ein ungehindertes Anströmen des Stalles zu sorgen und es muss beachtet werden, dass keine Gebäude oder große Bauwerke, bis hin zu Siloschläuchen den Luftwechsel beeinträchtigen können (LOEBSIN et al., 2012). Aber auch bei gut ausgerichteten Stallgebäuden haben Messungen gezeigt, dass die höchsten Luftströmungsraten direkt an den Stallöffnungen zu messen waren und zur Stallmitte hin auf unter 1 m/s abnahmen (MAČUHOVÁ et al., 2008). Zudem zeigt sich, dass gerade bei heißem Wetter die natürlichen Kühlmethoden nicht ausreichend sind, um die gewünschten Bedingungen im Stall zu erreichen (CIGR-BERICHT, 2006).

Daher sind weitere **technische Kühlmöglichkeiten** wie Ventilatoren erforderlich, um die Hitzestressbelastung von Rindern zu reduzieren. Zusätzlich ist zu beachten, dass bei latenter Wärmeabgabe an warmen Tagen bis zu 35 Liter Flüssigkeit pro Tier und Tag an die Umgebung abgegeben werden, die aus dem Stall befördert werden müssen, um die Hitzestresssituation aufgrund hoher Temperaturen nicht zusätzlich durch hohe Luftfeuchteraten zu verschärfen (BRADE, 2003). Durch eine technische Erhöhung der Luftgeschwindigkeit kann, neben einer Reduzierung der Luftfeuchte und der Schadstoffbelastung, ein zusätzlicher Kühleffekt für die Tiere erzielt werden. Dabei wird der isolierende Luftfilm im Haarkleid zerstört, so dass ein besserer Wärmeübergang zwischen der Tieroberfläche und der Luft erreicht wird (MAČUHOVÁ et al., 2008; BVET, 2009). Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um 0,5 m/s bei einer Umgebungstemperatur von 21 °C entspricht laut MAČUHOVÁ et al. (2008) und TVT-MERKBLATT 100 (2010) einer Wärmeabgabe der Tiere vergleichbar einer um 1,8 °C kühleren Umgebungstemperatur. Bei einer Umgebungstemperatur von 27 °C kann mit einer Luftgeschwindigkeit von 1,25 m/s eine Wärmeabgabe des Rindes vergleichbar mit einer um 3,33 °C kühleren Umgebungstemperatur ohne Luftbewegung erreicht werden und bei 30 °C Umgebungstemperatur und 2,5 m/s ein Kühleffekt von bis zu 5,56 °C. TOBER et al. (2011) und LOEBSIN et al. (2012) empfehlen eine Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s um eine hohe Kühlwirkung für die Tiere zu erreichen. Generell kann dabei gesagt werden, dass Rinder gegenüber hohen Luftgeschwindigkeiten weniger empfindlich sind als andere Nutztiere oder der Mensch und sie bei hohen Lufttemperaturen Luftgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s gut vertragen und auch benötigen, um Hitzestress entgegenzuwirken (MAČUHOVÁ et al., 2008). Für hochleistende Kühe sind Sommerluftvolumenströme von mindestens 550 m³ pro Kuh und Stunde anzustreben (HEIDENREICH et al., 2005). Wichtig beim Einsatz einer Zusatzlüftung ist, dass die natürlichen Strömungsfelder im Stall bekannt sind, um gezielt Bereiche mit unzureichender Belüftung zu unterstützen (FIEDLER et al., 2012). Zudem können die Luftgeschwindigkeiten zwischen den Tieren viel niedriger sein als diejenigen, die etwa einen Meter über den Tieren gemessen werden. So zeigten sich auf der windabgewandten Seite der Kühe nahe der Körperoberfläche Luftge-

schwindigkeiten von unter 2 m/s, während auf der windzugewandten Seite 1,5 – 2 m/s gemessen werden konnten (BERMAN, 2005). Während bei Deckenventilatoren der Einwirkungsbereich am Boden relativ klein ist und kreisrund unterhalb des Ventilators liegt, werden Axialventilatoren dagegen so aufgehängt, dass sie die Luft waagrecht in den Raum bringen und durch leichtes Anwinkeln gezielt die Bodenflächen überblasen können. Soll die Luft gleichmäßig im Raum verteilt werden, ist eine Aneinanderreihung mehrerer Ventilatoren sinnvoll, deren Zwischenabstände sich aus der Wurfweite des jeweiligen Ventilators ergeben (BRADE, 2013).

Eine weitere technische Kühlmöglichkeit ist der Einsatz von Sprinkler- oder Vernebelungsanlagen. Sie basieren auf der Verdunstungskühlung von mechanisch zugeführtem Wasser. Beim Beregnungs- oder Sprinklersystem wird die Tieroberfläche mit Wasser besprüht und das Tier direkt durch die Wasserverdunstung gekühlt (CIGR-BERICHT, 2006; BRADE, 2013). Dabei ist aus thermodynamischer Sicht die beste Leistung zu erreichen, wenn das Fell und die Haut des Tieres gut durchnässt sind (CIGR-BERICHT, 2006). Wichtig dabei ist nur den Rücken der Tier zu befeuchten und ein Benässen des Futters und der Liegefläche zu vermeiden (BRADE, 2013). Ein Nachteil dieser Methode ist der erhöhte Wasserverbrauch sowie der damit verbundene vermehrte Anfall an Abwasser und die Schaffung kontagiöser Bedingungen, die die Krankheitsanfälligkeit erhöhen (CIGR-BERICHT, 2006). Das Vernebelungssystem basiert dagegen auf dem Versprühen von Wasser als kleine Tropfen, meist durch Hochdruckdüsen, die direkt in der Umgebungsluft verdunsten und so zu einer Reduzierung der Lufttemperatur führen. Die Kühe und der Boden bleiben dabei stets trocken (CIGR-BERICHT, 2006). Die beiden Systeme können durch einen zusätzlichen Einsatz von Ventilatoren in ihrer Effizienz gesteigert werden (FLAMENBAUM et al., 1986; BERMAN, 2005; CIGR-BERICHT, 2006; VAN LAER et al., 2014). Der Nachteil beim Einsatz von Wasser zur Verdunstungskühlung liegt in der Erhöhung der relativen Luftfeuchte der Umgebung auf bis zu 80 % und darüber, so dass hier schnell die Grenzen der evaporativen Wärmeabgabe der Tiere überschritten werden und es zu einer Verschärfung der Hitzestresssituation kommt (CIGR-BERICHT, 2006; ZENTNER, 2012; VAN LAER et al., 2014). Daneben steigen bei

einer zu hohen Luftfeuchtigkeit im Stall die Emissionen an und es kann zu Schimmelpilz- und Keimbildung kommen, wodurch die Gesundheit von Mensch und Tier beeinträchtigt wird und Schäden an der Bausubstanz hervorgerufen werden können (MAČUHOVÁ et al., 2008; BVET, 2009; ZENTNER, 2012).

Auch die Gestaltung der **Liegefläche** spielt eine große Rolle, da die Tiere hier über Konduktion Wärme an eine kältere Kontaktfläche abgeben können und somit die Liegezeiten erhöht werden können. Gut geeignet dafür sind Beton, der allerdings zu hart und nicht verformbar ist und Sand, da beide Materialien sowohl kurz- als auch langfristig viel Wärme ableiten. Bei Gummimatten ist zwar eine kurzfristige gute Wärmeableitung gegeben, jedoch nimmt diese bei längeren Liegezeiten ab. Die niedrigste Wärmeableitung weisen Tiefstreu- oder Strohmattentzen auf, da es durch die Selbsterwärmung der Matratze eher zu einer weiteren Wärmebelastung für das Tier kommen kann (KRAMER et al., 1999; KECK et al., 2004). Daher sollte bei der Gestaltung der Liegefläche sichergestellt werden, dass im Sommer eine ausreichende Wärmeableitung gegeben ist, um für die Tiere ausreichende Liegezeiten von mindestens 12 Stunden pro Tag zu ermöglichen (TOBER et al., 2011; LOEBSIN et al., 2012). Ein neuer Ansatz kann dabei die aktive Kühlung der Liegefläche sein, wie beispielsweise beim „Conductive Cooling“ System der Firma GEA (Bönen, Deutschland), bei dem die Liegefläche durch darunter verlaufende Kühlwasserleitungen abgekühlt wird.

4. Stallklima

In der Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen von Stallklima. Es handelt sich dabei um die in einem bebauten Raum auftretende Gesamtheit des thermohygrischen Faktorenkomplexes einschließlich der Luftschadstoffe sowie der weiteren physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Luft. Das Stallklima setzt sich dabei aus verschiedenen Faktoren wie der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Luftbewegung, der Schadgaskonzentration, der Staub- und Keimkonzentration und weiteren Faktoren zusammen (MAČUHOVÁ et al., 2008). Der CIGR-BERICHT (2006) bezeichnet das Stallklima in geschlossenen Ställen als

ein Ergebnis folgender Parameter: Wärme- und Feuchtigkeitsproduktion der Tiere, Sonneneinstrahlung bzw. Sonnenorientierung und Beschattung des Gebäudes, Außentemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Außenbereich, die Luftgeschwindigkeit inner- und außerhalb des Gebäudes, die Isolierung des Gebäudes sowie die Hitzekapazität des Gebäudes und des Untergrundes, die Ventilationsrate und Luftverteilung im Stall, die zusätzlich entstehende Hitze sowie die evaporative Kühlung und andere Behandlungen der Luft.

Dabei ist zu beachten, dass die Stallklimafaktoren für eine Aussage über ihre Wirkung immer in ihrer Gesamtheit unter Berücksichtigung gegenseitiger Wechselwirkungen betrachtet werden müssen (MAČUHOVÁ et al., 2008; BVET, 2009; FREIBERGER, 2012).

MAČUHOVÁ et al. (2008) konnten zeigen, dass in den von ihnen untersuchten Betrieben die Stalltemperatur sehr schnell und sehr eng der Außentemperatur folgte. Auch treten tägliche Schwankung der Wärmeproduktion der Tiere aufgrund des täglichen Rhythmus in Ofenställen auf. So steigt die Wärmeproduktion während des Tages um 20 – 25 % an und fällt während der Nacht wieder um 20 – 25 % ab (CIGR-BERICHT, 2006). Dabei liegt die optimale Stalllufttemperatur bei 4 – 16 °C (ZENTNER, 2012).

Der optimale Bereich der relativen Luftfeuchte im Stall beträgt etwa 50 – 70 % (CIGR-BERICHT, 2006) bzw. 50 – 80 % (MAČUHOVÁ et al., 2008; BVET, 2009; ZENTNER, 2012).

Bei der Bewertung des Stallklimas sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, wie das Alter der Tiere, die Intensität der Nutzung, die Art des Haltungssystems und die Dauer und Intensität der Einwirkzeit eines Stallklimafaktors. Dabei sollten einzelne Stallklimafaktoren nie allein sondern immer in Kombination mit anderen Stallklimafaktoren betrachtet werden (BVET, 2009). Die Beurteilung erfolgt dabei durch Messung der einzelnen Parameter oder durch einfache Indikatoren wie das Empfinden des Menschen oder das Verhalten der Tiere. Die Messung sollte dabei grundsätzlich im Tierbereich erfolgen und es sollten kalibrierte Messgeräte und –verfahren verwendet sowie die Begleitumstände wie Messort, Tageszeit, etc. festgehalten werden. Des weiteren sind Jahres- und Tageszeit, das

Wetter, der Messort im Stall, die Luftschichtung, die Oberflächentemperatur der Bauteile und weitere Faktoren zu berücksichtigen, so dass je nach Messort und –zeit unterschiedliche Werte resultieren können, wodurch Messungen an verschiedenen Orten über eine längere Zeit aussagekräftiger sind als punktuelle Messungen (BVET, 2009).

III. ZIEL DER ARBEIT

Die meisten Arbeiten, die bisher zum Thema Hitzestress veröffentlicht wurden, stammen aus Ländern wie den USA oder Israel, in denen Hitzestress bereits seit langem ein wesentliches Problem in der Rinderhaltung darstellt. Zudem wurden viele Arbeiten in Klimakammern und nicht unter Praxisbedingungen durchgeführt. Bei allen diesen Arbeiten waren in der Regel Kühe der Rasse Holstein Friesian oder Jersey als Fokustiere eingesetzt.

Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkung von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen Klima- und Haltungsbedingungen in der Praxis darzustellen.

Des Weiteren sollte untersucht werden, ob die in der Literatur beschriebenen Maßnahmen zur Unterstützungskühlung, in Form von vermehrter Luftbewegung über Ventilatoren, in der Praxis die gewünschten Effekte bei der Bewältigung von Hitzestress erzielen können und das Tierwohl dadurch spürbar verbessert werden kann.

Zum Erreichen dieser Ziele war es notwendig verschiedene Teilziele zu bearbeiten:

- Zur Beeinflussung und Erfassung des Stallklimas waren im AMS-Stall Ventilatoren mit THI-Steuerung über den Liegeboxenreihen und Hitzedrahtanemometern zu installieren.
- Des Weiteren waren alle Tiere der Herde mit Pedometern auszustatten und diese vor den Untersuchungsperioden zu evaluieren.
- Die erhaltenen Aktivitäts- und Leistungsdaten sollten über die vorhandene Technik automatisch erfasst und in einem Datenbanksystem abgelegt werden.
- Zur Erfassung physiologischer Kenndaten sollten ausgewählte Tiere der Herde mit Herzfrequenzmesssystemen ausgestattet und zusätzlich weitere physiologische Parameter (Atemfrequenz, Körpertemperatur, Kortisolmetaboliten im Kot) erhoben werden.
- Zur Auswertung sollten alle erhaltenen tier- und stallbezogenen Daten in einer strukturierten Datenbank zusammengestellt werden.

Die durch die Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse sollten nach einem abschließenden Vergleich mit bisherigen Forschungsergebnissen, genutzt werden, um Landwirten vor Ort Möglichkeiten zur Erkennung und Vermeidung von Hitzestress aufzuzeigen.

IV. TIERE, MATERIAL UND METHODEN

1. Aufbau der Untersuchung

Die Untersuchung war während der Sommermonate 2014 und 2015 in je drei Phasen gegliedert. Während dieser Phasen wurden an je 24 Kühen jeweils physiologische, Leistungs- und Verhaltensparameter während folgender Phasen erfasst:

- Phase I unter thermoneutralen Bedingungen als Kontrolle (TN; 12. – 14.05.2014 und 19. – 23.05.2015)
- Phase II unter Hitzestressbedingungen ohne zusätzliche technische Kühlmaßnahmen (HSo; 03. – 07.07.2014 und 10. – 14.07.2015)
- Phase III unter Hitzestressbedingungen mit zusätzlichem Einsatz von Ventilatoren zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Stall, um eine Kühlwirkung für die Tiere zu erreichen (HSm; 01. – 05.08.2014 und 10. – 14.06.2015).

2. Tiere

Als Kühe standen Tiere aus der Herde des Milchviehstalls in Grub zur Verfügung, die mit Hilfe eines automatischen Melksystems (AMS) gemolken wurden. Im Folgenden wird diese Tiergruppe als AMS-Herde bezeichnet. In dieser Herde befanden sich etwa 75 Fleckviehkühe und zwei Braunviehkühe. Da hier keine saisonale sondern eine kontinuierliche Abkalbung erfolgte, standen im AMS-Stall maximal 65 laktierende Kühe, während die Trockenstehenden in einem separaten Stall untergebracht waren. Die durchschnittliche Anzahl der Laktationen der Tiere lag während der Phasen bei $2,34 \pm 1,5$. Wobei sich die Tiere mindestens in der ersten Laktation und maximal in der neunten Laktation befanden. Die durchschnittliche Jahresmilchleistung der Herde während des Untersuchungszeitraumes betrug 8.210 kg.

Die Herde wurde durch drei Personen in wechselndem Dienst betreut. Während der täglich anfallenden Arbeiten im Stall, wie der Liegeboxenpflege oder dem Nachtreiben von Kühen mit einer Zwischenmelkzeit von

mehr als 14 Stunden, hatten diese etwa zwei Stunden Kontakt zu den Tieren. Kranke, brünstige und anderweitig auffällige Tiere konnten bei Bedarf in eine Separationsbucht zu weiteren Maßnahmen selektiert werden.

Aus dieser Herde wurden in jeder Untersuchungsphase je acht Tiere der Früh-, Mittel- und Spätlaktation zufällig ausgewählt, also 24 Kühe je Durchgang. Die Früh-laktation umfasste dabei die ersten 100 Laktationstage (LT), die Mittellaktation erstreckte sich vom 101. bis zum 180. Laktationstag und der Spätlaktation gehörten Kühe ab dem 181. Laktationstag bis zum Trockenstellen an. Insgesamt nahmen 55 Kühe an der Untersuchung teil. 40 Kühe waren bei zwei oder mehr Phasen dabei, zum Teil in unterschiedlichen Laktationsstadien, zwei Tiere davon in allen sechs Phasen.

3. Stallhülle und zusätzliche Technik

Um die klimatischen Bedingungen im Stall besser verstehen zu können, ist es erforderlich den Aufbau des Stallgebäudes näher zu betrachten. Zudem wurden zur Unterstützungskühlung Ventilatoren im Stall angebracht.

3.1. Stallhülle

Der AMS-Stall in Grub ist als dreireihiger Liegeboxenstall ausgeführt. Die Ausrichtung des Stalles ist in Ost-West-Richtung. Die Nordseite des Stalles ist bis zu einer Höhe von ca. 2,50 m durch Mauerwerk geschlossen. Darüber befindet sich eine Holzwand. An der Nordseite sind zwei Wandöffnungen vorhanden, die mit 1,20 m hohen Holztoren zur Hälfte verschlossen sind. Durch weitere Rolltore aus Holz lassen sich diese Öffnungen vollständig schließen.

Die östliche Giebelseite des Gebäudes ist ebenfalls geschlossen. Hier findet sich im südlichen Teil eine weitere Wandöffnung, die ebenfalls verschlossen werden kann. Zudem ist im Osten des Stalles ein geschlossenes Melkhaus mit Büro eingebaut (Abbildung 8).



Abbildung 8: Innenansicht AMS-Stall Grub, Blick Richtung Nord-Osten

Die westliche Giebelseite des Stalles ist im unteren Bereich, bis zu einer Höhe von etwa 2,50 m offen. Darüber befindet sich eine Holzwand. An diese Seite des Stalles ist der Cushetten – Milchviehstall mit einer weiteren Kuhherde direkt angegliedert, so dass von dieser Seite keine freie Anströmung erfolgen kann (Abbildung 9).

Im Süden des Stalles befindet sich der Fressplatzbereich mit überdachtem Futtertisch. Diese Seite des Stalles ist vollständig geöffnet und kann bei Bedarf durch Curtains geschützt werden (Abbildung 9).

Der Stall wurde 2013 mit Photovoltaikpanelen ausgestattet, sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordseite. Dazu wurde auf dem Dach eine Holzunterschale unter der Ziegeleindeckung angebracht.



Abbildung 9: Innenansicht des AMS-Stall Grub, Blick Richtung Süd-Westen

3.2. Ventilatoren

Im AMS-Stall der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub wurden im Sommer 2013 über den Liegeboxenreihen Ventilatoren der Firma Ziehl-Abegg AG, Künzelsau, Deutschland, (Modell FF091-ZIQ.DG.A3P1, EC-Motor, Owllet-Flügel) installiert (Abbildung 10). Über jeder der drei Liegebuchtenreihen sind jeweils zwei Ventilatoren in Reihe geschaltet. Der Abstand zwischen den einzelnen Ventilatoren in der Reihe beträgt 15 bzw. 20 Meter. Die Ausrichtung ist Ost-West (Abbildung 11).

Die Steuerung der Ventilatoren erfolgt automatisch über eine THI-abhängige Prototypensteuerung der Firma Schönhammer (Mengkofen, Deutschland). Als Steuergrößen dienen die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte im Stall, die an jeweils zwei Stellen im Stall einmal pro Minute gemessen werden und analog zum TH-Index miteinander verrechnet werden. Ab einem THI von 68 starten die Ventilatoren mit 60 % Drehzahl und schalten ab einem THI von 72 auf maximale Drehzahl.



Abbildung 10: Ventilatoren der Firma Ziehl-Abegg im AMS-Stall der Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub

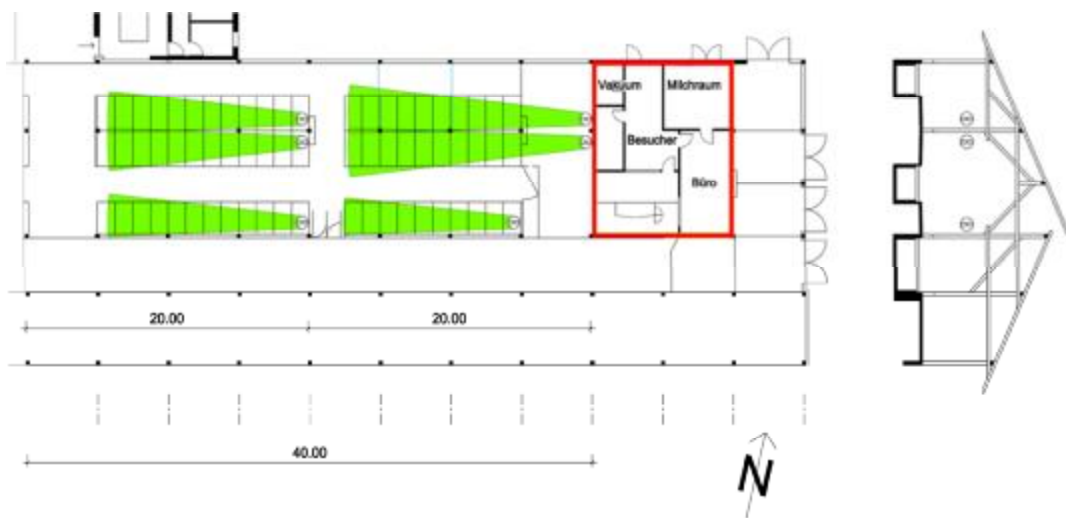


Abbildung 11: Anordnung und Strömungsrichtung der Ventilatoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub

4. Parameter zur Ermittlung der Hitzestressbelastung

Zur Ermittlung und Darstellung einer Hitzestressbelastung wurden verschiedene physiologische, Leistungs- und Verhaltensparameter gewählt.

4.1. Physiologische Parameter

Die in dieser Untersuchung betrachteten physiologischen Parameter umfassen die Atemfrequenz, die Körpertemperatur und die Herzfrequenz sowie die Messung der Kot-Kortisolmetaboliten.

4.1.1. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz wurde während der einzelnen Untersuchungszeiträume von acht bis 20 Uhr stündlich für jede Kuh visuell erfasst. Dazu wurde die Flankenbewegung der 24 Tiere für 15 Sekunden gezählt und anschließend extrapoliert, um die Atemfrequenz als Atemzüge pro Minute zu erhalten. Diese Werte wurden manuell in eine Excel-Tabelle eingefügt.

4.1.2. Körpertemperatur

Zur Erfassung der Körpertemperatur wurde die Rektaltemperatur der jeweils 24 Fokuskühe alle zwei Stunden im Zeitraum von acht bis 20 Uhr während der Untersuchungszeiträume gemessen. Dafür wurde ein Digitalthermometer (Scala Veterinärthermometer SC 12, Scala Electronic, Stahnsdorf, Deutschland) etwa sieben Zentimeter tief in das Rektum der Tiere eingeführt. Das Thermometer erfasst laut Herstellerangaben den Messbereich von 32,0 – 43,9 °C, mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ °C im Bereich von 35,5 – 42,0 °C und bei einer Umgebungstemperatur von 18 bis 28 °C. Die gemessenen Werte wurden manuell in eine Excel-Tabelle eingefügt.

4.1.3. Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde über Polar Equine Herzfrequenzmessgeräte RS 800 (Polar Electro, Kempele, Finnland) gemessen. Diese Herzfrequenzmessgurte bestehen aus einem Brustgurt, der um den Tierrumpf, kurz hinter dem Ellbogen angelegt wird und zwei Elektroden integriert hat. Die erste Elektrode sollte dabei etwas ventral des Ellenbogens liegen, die zweite im Abstand von 50 bis 60 cm dorsal der ersten Elektrode im Bereich des rippengestützten Brustkorbes. Zwischen den beiden Elektroden

lässt sich die Sendeeinheit (WearLink W.I.N.D.) anbringen (Abbildung 12).

Da nur eine begrenzte Anzahl an Herzfrequenzmessgeräten zur Verfügung standen wurden je Phase 12 Kühe mit diesen ausgestattet. Von diesen befanden sich jeweils 4 Tiere in der Früh-, Mittel- und Spätlaktation.

Die Auflagestellen der Sensoren wurden geschoren und mit ausreichend Ultraschallgel (Henry Schein, Melville, USA) benetzt. Zum Schutz des Herzfrequenz-Gurtes und der Sendeeinheit waren diese mit einem elastischen Gummideckengurt aus dem Pferdesportbereich (Fa. Loesdau, Bisingen, Deutschland) überdeckt. Der Datenempfänger, die Polar-Sportuhr RS 800 war am Deckengurt in einer transparenten Schutzhülle wasserdicht angebracht, da sie laut Hersteller maximal einen Meter vom Sender entfernt sein darf. An der Sportuhr wurde, neben der aktuellen Uhrzeit und dem Datum, die Messung der Herzfrequenz auf ein Intervall von 60 Sekunden eingestellt, so dass pro Minute ein Wert gespeichert wurde. Die Übertragung der erfassten Daten von der Polar-Sportuhr an das zugehörige Auswertungsprogramm am PC erfolgte nach jeder Untersuchungsphase via Infrarot Verbindung. Die ausgelesenen Daten wurden anschließend in eine Excel Tabelle exportiert.

Auf eine Messung der Herzfrequenzvariabilität wurde verzichtet, da diese eine wesentlich höhere Aufzeichnungsfrequenz benötigt und der Speicher des Datenempfängers, der sich am Tier befand, nur die Messung für maximal fünf Stunden zugelassen hätte. Somit hätten die Tiere während eines Untersuchungstages mehrmals in die Separation getrieben und fixiert werden müssen. Dies hätte nicht nur zusätzlichen Stress für die Tiere bedeutet, auch das Liegeverhalten der Tiere wäre dadurch stark beeinflusst worden.



Abbildung 12: Fokustier mit Polar Herzfrequenzmessgerät RS 800

4.1.4. Kot – Kortisol

Der Kortisolspiegel der Tiere wurde nach PALME et al. (2013) aus dem Kot der Rinder erfasst. Dazu wurden während der Untersuchungsphasen am jeweils letzten Tag morgens zwischen 07:00 und 09:00 Uhr von jedem der 24 Fokustiere Proben von spontan abgesetztem Kot oder rektal entnommenen Kot und in ein beschriftetes Röhrchen gefüllt. Diese Kotproben wurden unmittelbar bei -20 °C eingefroren. Im Anschluss an die Untersuchung wurden die Proben im Labor des Lehrstuhls für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München nach der Methode von Palme et al. (2013) extrahiert und ans Labor des Institutes für Medizinische Biochemie an der Veterinärmedizinischen Universität Wien zur Bestimmung der fäkalen Kortisolmetaboliten gesandt. Der Entnahmezeitpunkt wurde am frühen Morgen gewählt, da die Passagezeit der Ingesta beim Wiederkäuer etwa 12 Stunden beträgt (LEXEN et al., 2008; ROUHÄMÜLLEDER et al., 2010; PALME, 2012) und somit das Stresslevel am Abend zuvor dargestellt wird, wenn die Belastung der Tiere durch Hitzestress gegeben war. Die vom Labor des Institutes für Medizinische Bio-

chemie an der Veterinärmedizinischen Universität Wien erhaltenen Werte wurden manuell in eine Excel-Tabelle eingefügt.

4.2. Leistungsparameter

Zu den in dieser Untersuchung erfassten Leistungsparametern zählen die Milchleistung und die Futteraufnahme.

4.2.1. Milchleistung

Die Tiere im AMS-Stall in Grub werden über ein automatisches Melksystem (AMS) der Firma DeLaval (Tumba, Schweden) gemolken. Dieses erfasst durchgehend die Milchleistung jeder einzelnen Melkung. Die Tiererkennung erfolgt über RFID-Transponder, welche an den Ohren der Kühe befestigt waren. Die erhaltenen Milchdaten können über das zugehörige Herdenmanagementprogramm (DelPro, DeLaval, Tumba, Schweden) abgerufen werden. Diese Daten wurden täglich in eine Datenbank exportiert. Dort wurden aus diesen Daten, mit Hilfe einer zeitanteiligen Zuteilung, die tägliche Milchleistung sowie die Anzahl der täglichen Melkungen berechnet.

4.2.2. Futteraufnahme

Die Grundfuttersvorlage erfolgte einmal täglich als PMR (partly mixed ration, Teilmischration) um 05:30 Uhr in die 36 Wiegetröge (Versuchstechnik LfL Weihenstephan, Freising, Deutschland) des Stalles. Zusätzlich erhielten die Tiere leistungsabhängig Kraftfutter im Melkroboter und an einer Kraftfutterabrufstation zentral im Stall. Der Energiegehalt der PMR lag 2014 bei 6,9 MJ NEL/kg TM. Im Jahr 2015 waren die Kühe aufgrund eines parallel stattfindenden Fütterungsversuchs (optiKuh) in zwei Gruppen mit unterschiedlichem Energiegehalt des Grundfutters eingeteilt. So erhielt Gruppe eins eine PMR mit 6,1 MJ NEL/kg TM und Gruppe zwei 6,5 MJ NEL/kg TM.

Die Kühe wurden über ihre RFID-Transponder individuell an jedem Trog erkannt. Aus dem Anfangs- und Endgewicht des im Trog vorhandenen Futters wurde die aufgenommene Frischmasse (in g) je Besuch ermittelt und daraus die aufgenommene Tagesmenge berechnet. Diese Daten wurden ebenfalls an eine Datenbank übermittelt.

Bei der Futteraufnahme wurde nur die tägliche Grundfutteraufnahme ausgewertet, da beim Kraftfutter aufgrund von Verdrängungen am Kraftfutterautomaten die aufgenommene Menge je Tier nicht eindeutig ermittelt werden konnte.

4.3. Verhaltensparameter

In dieser Untersuchung wurde das Liegeverhalten der Kühe mithilfe von Pedometern erfasst. Zugleich erfolgten Videoaufzeichnungen als Referenzsystem.

4.3.1. Liegeverhalten

Der AMS-Stall in Grub ist mit 65 Liegeplätzen ausgestattet, so dass ein Tier- : Liegeplatzverhältnis von höchstens 1:1 vorliegt. Aufgrund des Status als Versuchs- und Lehrstall sind hier unterschiedliche Liegeboxen und Boxenabtrennungen verbaut: Tiefstreubuchten mit Kalk – Stroh - Matratzen und Hochboxen mit Gummiliegematten.

Die Tiere der Herde waren mit Pedometern der Firma ENGS (Rosh Pina, Israel) ausgestattet. Dieses Pedometersystem bietet den Vorteil, dass es neben der bereits üblichen Aktivitätserfassung über einen zusätzlichen Lagesensor auch den Liegevorgang der Kühe erfassen kann. Zudem wurde dieses System gewählt, da die Datenlogger am Bein der Tiere befestigt werden konnten und nicht an einem Halsband, da dies bei den vorhandenen Wiegetrögen im Stall nicht kompatibel gewesen wäre. Der Datenlogger befand sich dabei in einem starren Plastikgehäuse (69 mm x 51 mm x 27 mm). Sein Gewicht betrug 75 g. Die Befestigung am Vorderbein der Kuh erfolgte oberhalb des Fesselgelenkes, lateral am Metacarpus, mit Hilfe eines mitgelieferten Bandes (Abbildung 13). Die vom Datenlogger erhobenen Daten wurden alle sechs Minuten über im Stall installierte Antennen abgerufen und über einen Receiver an das zugehörige Managementprogramm EcoHerd (ENGs, Rosh Pina, Israel) an den Stall-PC weitergeleitet. Aus diesen Daten wurde die tägliche Liegezeit in Minuten an die Datenbank übertragen. 2015 erhielten die Tiere eine neue Pedometerversion, die alle zwei Minuten Daten aufzeichnet. Da die Parameter aber wie in der älteren Version von 2014 erfasst werden sind die Daten vergleichbar.



Abbildung 13: Pedometer am Vorderbein einer Kuh im AMS-Stall

2014 erfolgte eine Evaluierung des Pedometersystems. Dazu wurden die Liegedaten der Pedometer von Fokuskühen mit Videoaufzeichnungen (siehe 4.3.2) verglichen. Aus den aufgezeichneten Daten wurden die Differenzzeiten in Minuten zwischen den Liegephasen der ENG-S-Pedometer und den visuell beobachteten berechnet. Dabei betrug die prozentuale Abweichung der von den Pedometern erfassten täglichen Liegezeit von der tatsächlichen Liegezeit pro Tag aus der Videobeobachtung 3,3 % mit einer Standardabweichung von $\pm 4,5$ %. Das Pedometersystem „Track a Cow“ des israelischen Herstellers ENG-S (Rosh Pina) konnte somit als gutes, kommerziell erhältliches Werkzeug eingestuft werden, um die Tages-Liegezeiten einzelner Kühe oder einer Gruppe unter Feldbedingungen zu erfassen (GEISCHEDER et al., 2015).

4.3.2. Videoaufzeichnungen als Referenz

Zusätzlich wurden zwei Videokameras (Fa. Mobotix, Winnweiler, Deutschland) im Stall installiert, um einen Großteil des Stalles zu überwachen und das Tierverhalten rückwirkend überprüfen zu können (Abbildung 14). Dies ermöglichte, das Liegeverhalten einzelner Tiere zu erfassen und mit den Pedometerdaten abzugleichen und bei Auffälligkeiten der Untersuchungsergebnisse gezielt Veränderungen und Aktivitäten im Stall, wie das Reini-

gen der Liegeboxen, etc. nachzuvollziehen.

Um die Genauigkeit der Pedometerdaten zu überprüfen, wurden die erhobenen Daten 2014 visuell mit den Videoaufzeichnungen verglichen (siehe 4.3.1).



Abbildung 14: Anordnung der Videokameras (rot) und deren Erfassungsfeld (blau) in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub

4.4. Stall- und Außenklima

Um zu erfassen, ob eine Belastungssituation durch Hitzestress für die Kühe vorlag, wurden die Klimadaten im Stall und im Außenbereich erhoben. Aus diesen wurde anschließend der THI berechnet.

4.4.1. Stallklima

Lufttemperatur

Die Lufttemperatur wurde über zwei Sensoren im Stall erfasst. Diese sind Teil der Steuerungseinrichtung der Ventilatoren (Fa. Schönhammer, Mengkofen, Deutschland). Die Sensoren zeichnen einen Temperaturwert je Sensor und Minute auf und können über das zugehörige Programm der Firma Schönhammer abgerufen werden. Diese Werte der zwei Sensoren wurden in eine Excel-Tabelle exportiert und zu Stundenwerten gemittelt.

Luftfeuchte

Die Erfassung der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgte ebenfalls über zwei Sensoren im Stall, die zur Steuerungseinrichtung der Fa. Schönhammer (Mengkofen, Deutschland) gehören. Die Aufzeichnung und weitere Verarbeitung erfolgte analog zur Lufttemperatur. Diese Werte der Sensoren für die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit dienen auch dem Steuerungssystem der Ventilatoren zur Berechnung des THI im Stall.

THI

Die Berechnung des Temperature-Humidity-Index (THI) erfolgte aus den gemittelten Stundenparametern Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit anhand der Formel nach MADER et al. (2006):

$$\text{THI} = (0,8 * T) + [(RH / 100) * (T - 14,4)] + 46,6$$

mit T = Lufttemperatur [°C] Stall bzw. Außen

RH = relative Luftfeuchtigkeit [%] Stall bzw. Außen

Strömungssensoren

Um die Luftströmung im Stall darzustellen wurden 13 Hitzedrahtanemometer (Fa. Schmidt, Spiesheim, Deutschland) gleichmäßig im Stall verteilt und für die Kühe nicht erreichbar auf einer Höhe von 2,35 m über den Liegeflächen montiert (Abbildung 15). Sie erfassten die Luftströmung richtungsunabhängig in m/s. Die Messung lieferte dabei einen Wert pro Minute. Diese Daten wurden an die Datenbank weitergeleitet.



Abbildung 15: Anordnung der Strömungsmesssensoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub

4.4.2. Außenklima

Zur Erfassung der Klimawerte im Außenbereich diente die Wetterstation der Landesanstalt für Landwirtschaft, die etwa 30 m südlich des Stalles steht. Sie erfasst die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie die Globalstrahlung in einer Höhe von zwei Metern. Die Werte können auf der Homepage der Agrarmeteorologie Bayern der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (www.wetter-by.de) abgefragt werden. Hier wurden die Stundenwerte für die Untersuchungszeiträume abgerufen und in eine Excel-Tabelle übertragen. Die Berechnung des THI im Außenbereich erfolgte analog der Berechnung des THI im Stall.

5. Datenerfassung und Auswertung

Die erfassten Daten wurden in einem ersten Schritt zusammengeführt und anschließend statistisch ausgewertet.

5.1. Datenfluss

Die Daten für die Atemfrequenz und Körpertemperatur der Kühe wurden manuell in Microsoft Excel eingepflegt. Die Daten der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte wurden aus dem Steuerungsprogramm der Fa. Schönhammer (Mengkofen, Deutschland) in eine MS Excel Tabelle exportiert. Die Werte der Milchleistung und Futteraufnahme sowie die Pedometerdaten und die übrigen Klimawerte wurden aus den jeweiligen Managementprogrammen in einer PostgreSQL-Datenbank gesammelt und bei

Bedarf entsprechend verrechnet. Zur weiteren Auswertung wurden die Daten in eine MS Excel Tabelle importiert (Abbildung 16).

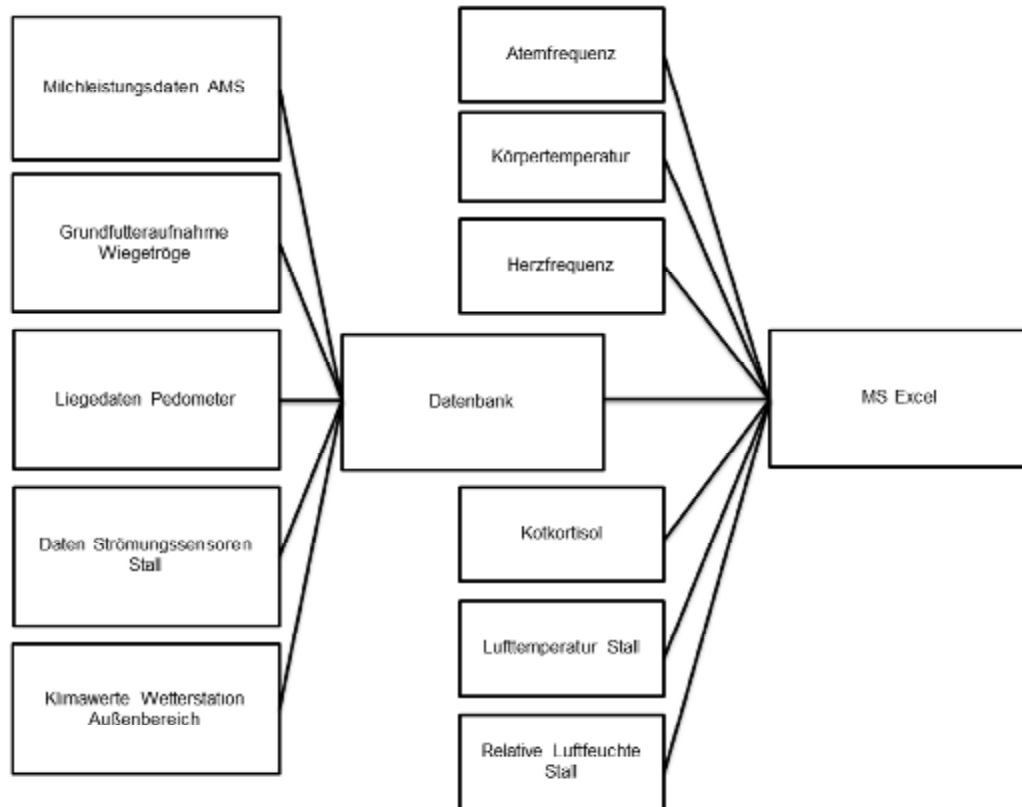


Abbildung 16: Übersicht Datenerfassung und Datenfluss

5.2. Statistische Auswertung

Die Berechnung der **deskriptiven Statistik** erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Es wurden der Median, das Maximum und das Minimum sowie die 25 %- und 75 % Quartile berechnet und die entsprechenden Graphiken angefertigt (Abbildung 17).

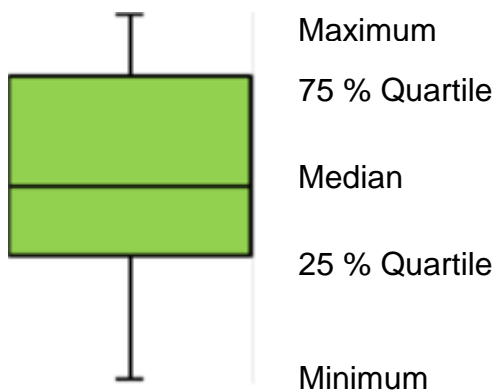


Abbildung 17: Boxplot mit berechneten Kenngrößen

Die weitere **schließende Statistik** wurde in Zusammenarbeit mit Herrn Priv.-Doz. Dr. med. vet. Sven Reese durchgeführt. Die Berechnungen erfolgten mit dem Programm IBM SPSS Statistics (SPSS Inc., Chicago, Illinois). Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Parametern wurde mit der Korrelationsanalyse nach Spearman-Rho (ρ) ermittelt, da die Werte nicht normalverteilt waren. Dabei wurden die Korrelationen für die Klimawerte untereinander und für die Klimawerte der einzelnen Parameter Atemfrequenz, Körpertemperatur, Herzfrequenz, Kotkortisolmetaboliten, Milchleistung, Futteraufnahme und Liegezeiten ermittelt.

Des Weiteren wurden in einem gemischten linearen Modell die Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern, mit Ausnahme der Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot, in Abhängigkeit vom THI, der Phase und der Laktationsgruppe berechnet. Der THI, die Untersuchungsphasen und die Laktationsgruppen wurden dabei als feste Effekte angenommen. Das gemischte lineare Modell wurde hier verwendet, da wiederholte Messungen an der gleichen statistischen Einheit durchgeführt wurden.

Da es sich bei der Messung der Kortisolmetaboliten im Kot nur um eine Einzelmessung und keine wiederholte Messung je Phase handelte wurde hier der Mann-Whitney-Test verwendet um Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen darzustellen.

V. ERGEBNISSE

1. Klima

Die Auswertung der Klimaparameter erfolgte für die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und den THI, jeweils im Stall und im Außenbereich. Zusätzlich wurden die Luftströmung im Stall sowie die an der Wetterstation erfasste Globalstrahlung näher betrachtet.

1.1. Lufttemperatur

Zur Betrachtung der Lufttemperatur im Stall wurde der Tagesdurchschnittswert je Untersuchungstag herangezogen. Die Lufttemperatur im Stall lag während der beiden Hitzestressphasen deutlich über den Werten der Thermoneutralen Phase. So betrug die Tagesdurchschnittstemperatur während der Thermoneutralen Phase im Mittel 11,7 °C, während sie in der Hitzestressphase ohne Ventilatoren bei 22,6 °C und in der Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz bei 22,1 °C lag (Abbildung 18).

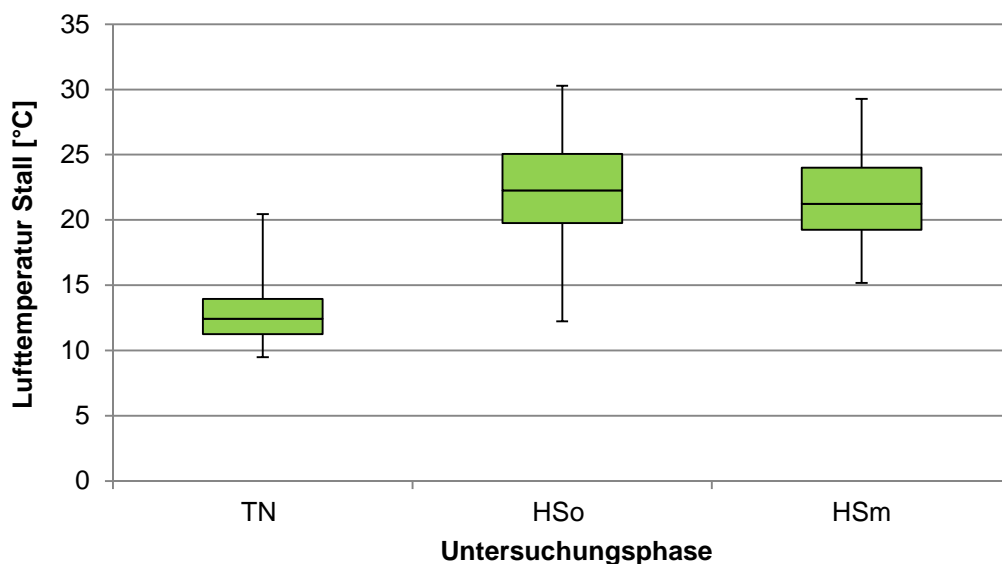


Abbildung 18: Temperatur und Streuwerte der Stallluft während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Bei Betrachtung des Verlaufs der Tagestemperatur während der Untersuchungsphasen (Abbildung 19), anhand stündlich erfasster Werte, zeigte sich, dass während der Hitzestressphasen im Stall tagsüber Temperaturspitzen zwischen 25 °C und 30 °C auftraten und die Tiefsttemperaturen auch nachts kaum unter 15 °C bis 20 °C absanken.

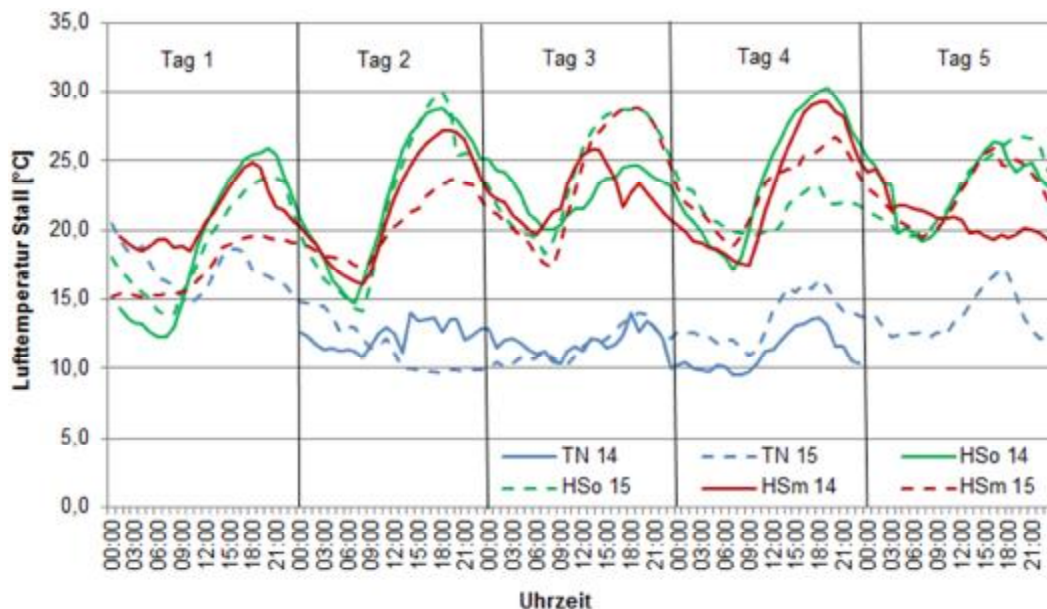


Abbildung 19: Tagesverlauf der Lufttemperatur im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Auch bei der Lufttemperatur im Außenbereich waren die Werte während der Hitzestressperioden deutlich höher als während der Thermoneutralen Phase. So betrug die mittlere Tagesdurchschnittstemperatur in der Thermoneutralen Phase 8,6 °C, in der Hitzestressphase ohne Ventilatoren 19,9 °C und in der Hitzestressphase mit Ventilatoren 18,9 °C (Abbildung 20).

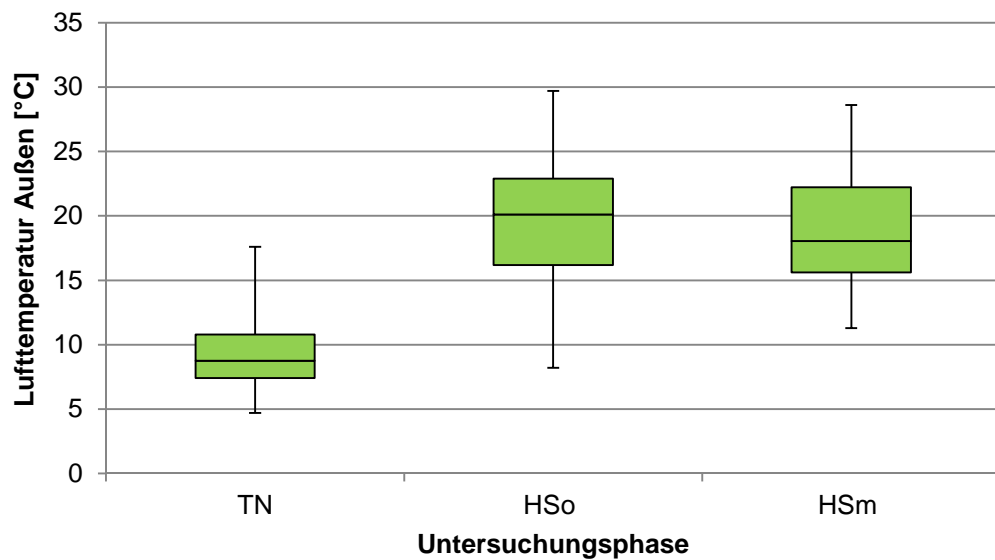


Abbildung 20: Temperatur und Streuwerte der Luft im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Bei Betrachtung der Außen-Lufttemperatur im Tagesverlauf (Abbildung 21) zeigte sich, dass tagsüber während der Hitzestressphasen ebenso wie im Stall Werte von bis zu 30 °C erreicht wurden und während der Nacht die Lufttemperatur kaum unter 15 °C abfiel.

Die Lufttemperaturen im Stall korrelierten dabei stark mit den Lufttemperaturen im Außenbereich ($p = 0,849$; $p < 0,001$).

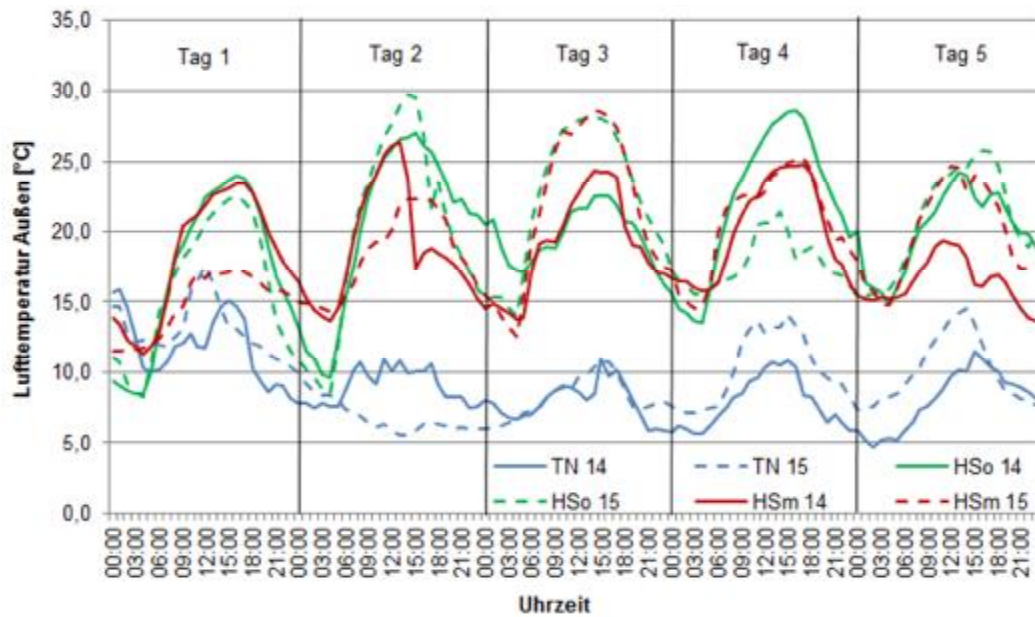


Abbildung 21: Tagesverlauf der Lufttemperatur im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

1.2. Relative Luftfeuchtigkeit

Bei der relativen Luftfeuchte zeigten sich zwischen den Untersuchungsphasen keine großen Differenzen. Während der Hitzestressphasen ohne Ventilatoreinsatz lag sie geringfügig unter den Werten der Thermoneutralen Phase und der Hitzestressphase mit Unterstützungslüftung. So betrug die relative Luftfeuchte im Stall im Mittel 72,3 % in der Thermoneutralen Phase, 65,5 % in der Hitzestressphase ohne und 69,4 % mit Ventilatoreinsatz (Abbildung 22).

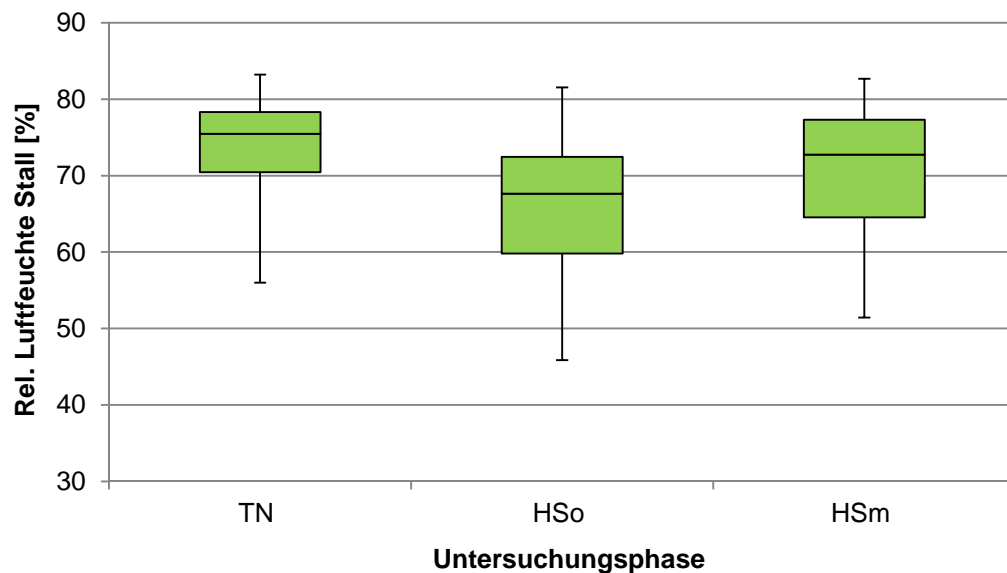


Abbildung 22: Relative Feuchte und Streuwerte der Stallluft während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit im Verlauf eines Tages bewegte sich im Stall zwischen 50 und 80 %. Dabei zeigten sich ein Abfall während der Abendstunden und ein Anstieg in den Nacht- und Morgenstunden. Dieser war ausgeprägter in den Hitzestressphasen (Abbildung 23).

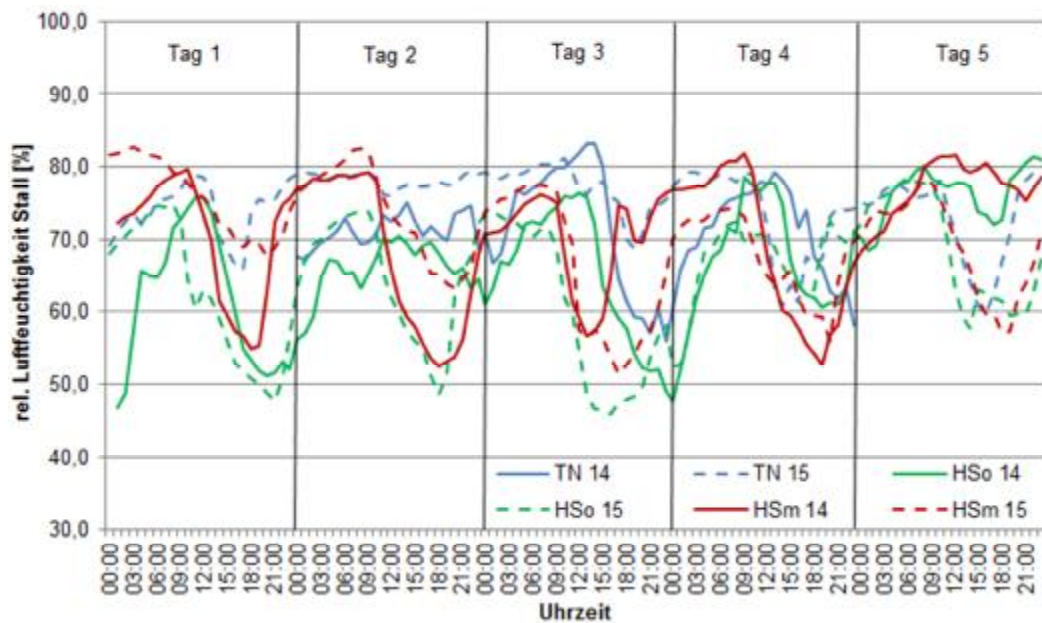


Abbildung 23: Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Im Außenbereich erreichte die mittlere relative Luftfeuchtigkeit 87,9 % in der Thermoneutralen Phase, 67,7 % während der Hitzestressphase ohne und 88,0 % in der Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz (Abbildung 24).

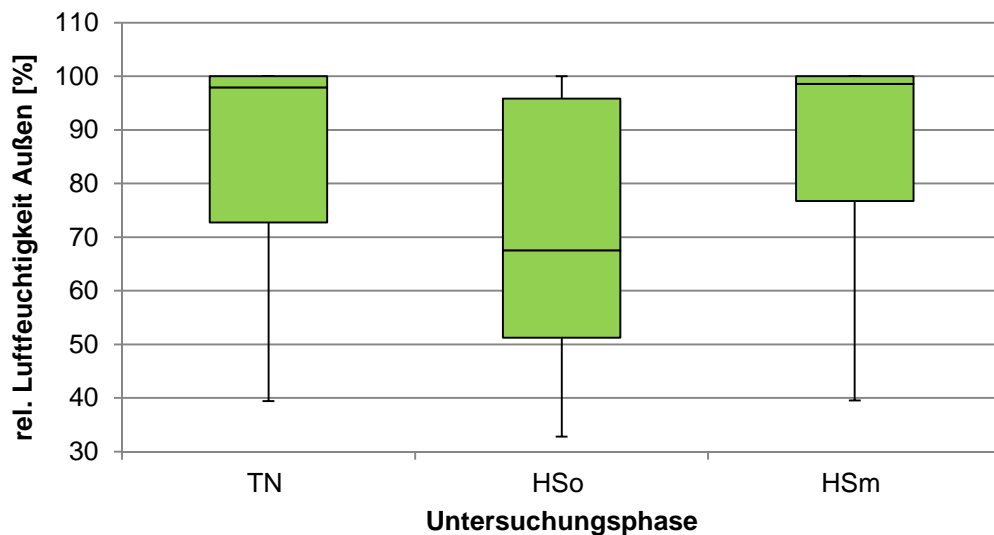


Abbildung 24: Relative Feuchte und Streuwerte der Luft im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Größere Spannbreiten im Tagesverlauf wies die relative Luftfeuchtigkeit im Außenbereich auf (Abbildung 25). Sie schwankte minimal zwischen etwa 40 % und maximal 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Das Maximum wurde dabei vor allem nachts nahezu während aller Untersuchungsphasen erreicht. Diese Maximalwerte sind auf Regenschauer und auf Tau, infolge Abkühlung der Luft, gerade in den frühen Morgenstunden, und daraus folgender Kondensation des Wasserdampfes, zurückzuführen.

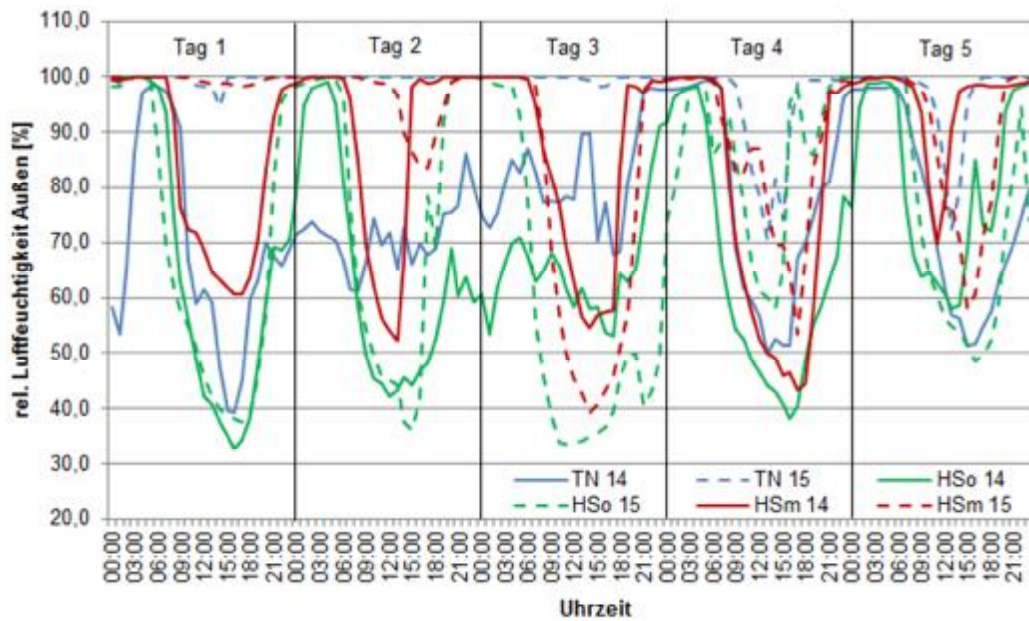


Abbildung 25: Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Die relative Luftfeuchte im Stall korrelierte mit der relativen Luftfeuchte im Außenbereich ($p = 0,434$; $p < 0,001$). Eine negative Korrelation zeigte sich mit der Lufttemperatur im Stall ($p = -0,632$; $p < 0,001$) und im Außenbereich ($p = -0,438$; $p < 0,001$).

1.3. Temperature-Humidity-Index (THI)

Aus den beiden Parametern Lufttemperatur und relative Luftfeuchte wurde der THI nach oben angegebener Formel von MADER et al. (2006) berechnet. Hier zeigte sich, dass der THI während der Phasen mit Hitzestress sowohl im Stall, als auch im Außenbereich deutlich über den Werten der thermoneutralen Phase lag. Der THI im Stall betrug während der Thermoneutralen Phase 54, dagegen lag er in der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz bei 70 und mit Ventilatoreinsatz bei 69 (Abbildung 26).

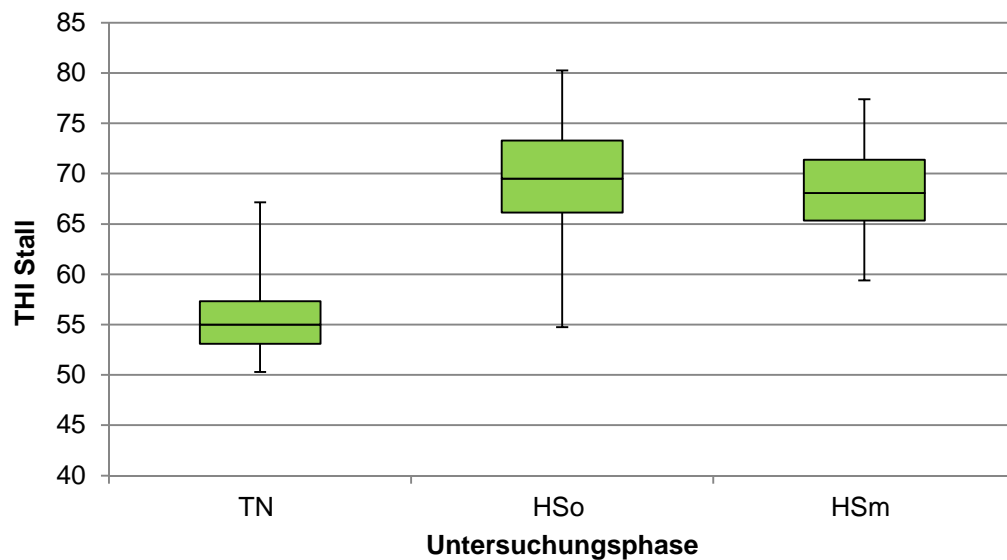


Abbildung 26: THI und Streuwerte im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Bei Betrachtung des Stall-THI im Tagesverlauf, zeigte sich, dass der THI bis auf Werte von 80 Punkten während der Hitzestressphasen im Stall ansteigen konnte (Abbildung 27). Zudem fiel der THI ab dem zweiten Untersuchungstag während der Hitzestressphasen kaum unter den von ZIMBELMAN (2008) festgelegten Schwellenwert für Hitzestress von 68 THI-Punkten.

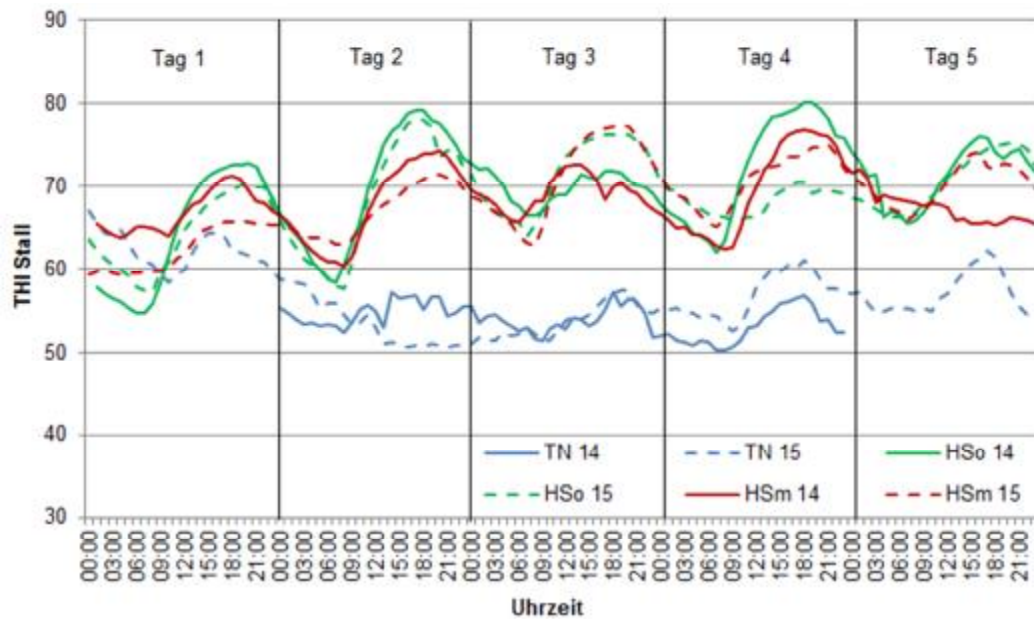


Abbildung 27: Tagesverlauf des THI im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Im Außenbereich lag der THI im Mittel bei 49 Punkten während der Thermoneutralen Phase, bei 66 in der Hitzestressphase ohne Ventilatoren und bei 65 während der Hitzestressphase mit Ventilator Kühlung (Abbildung 28).

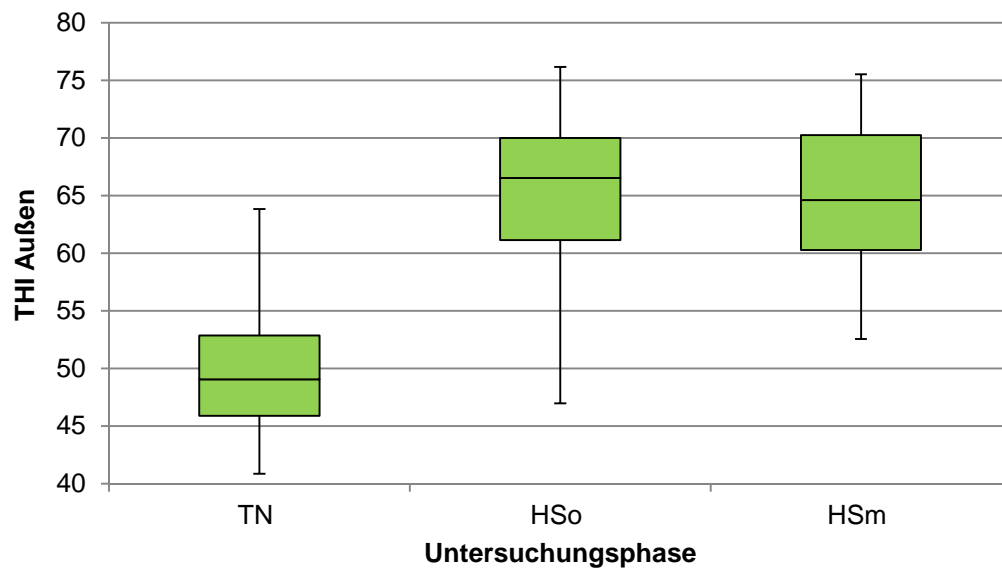


Abbildung 28: THI und Streuwerte im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Auch im Außenbereich zeigte der Tagesverlauf des THI einen ähnlichen Verlauf wie im Stall. Tagsüber stieg der THI während der Hitzestressphasen über den Schwellenwert von 68 an, fiel während der Nacht aber wieder deutlich ab (Abbildung 29).

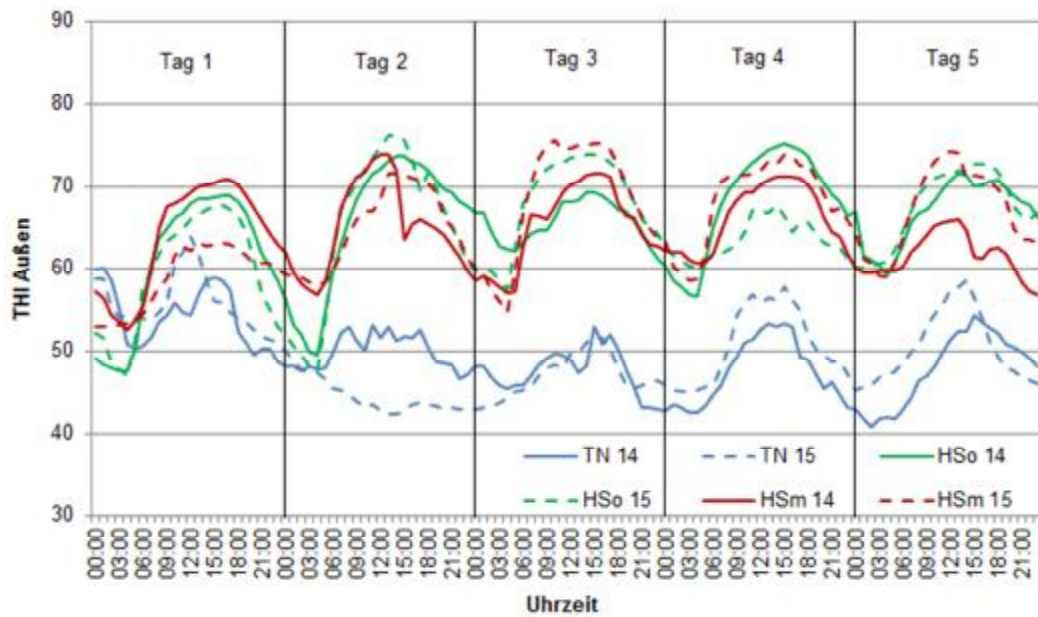


Abbildung 29: Tagesverlauf des THI im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Der THI im Stall korrelierte stark positiv mit der Lufttemperatur im Stall und im Außenbereich. Dagegen war mit der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall und im Außenbereich eine negative Korrelation festzustellen, wenn auch weniger stark als mit der Lufttemperatur (Tabelle 9).

Tabelle 9: Spearman Korrelation des THI im Stall mit weiteren Klimaparametern

Parameter	Spearman-Korrelation mit THI Stall	Signifikanz
THI Außenbereich	$\rho = 0,844$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Stall	$\rho = 0,997$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = 0,834$	$p < 0,001$
Relative Luftfeuchte Stall	$\rho = -0,598$	$p < 0,001$
Relative Luftfeuchte Außenbereich	$\rho = -0,405$	$p < 0,001$

Exemplarisch wurde für das Jahr 2014 der THI im Stall dem THI im Außenbereich während der Thermoneutralen Phase und während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, dass der THI im Stall etwas zeitverzögert dem THI im Außenbereich nachfolgt. Zudem lag der Stall-THI meist über dem THI im Außenbereich (Abbildung 30). Ein ähnliches Bild ergab sich auch für die Werte des Jahres 2015.

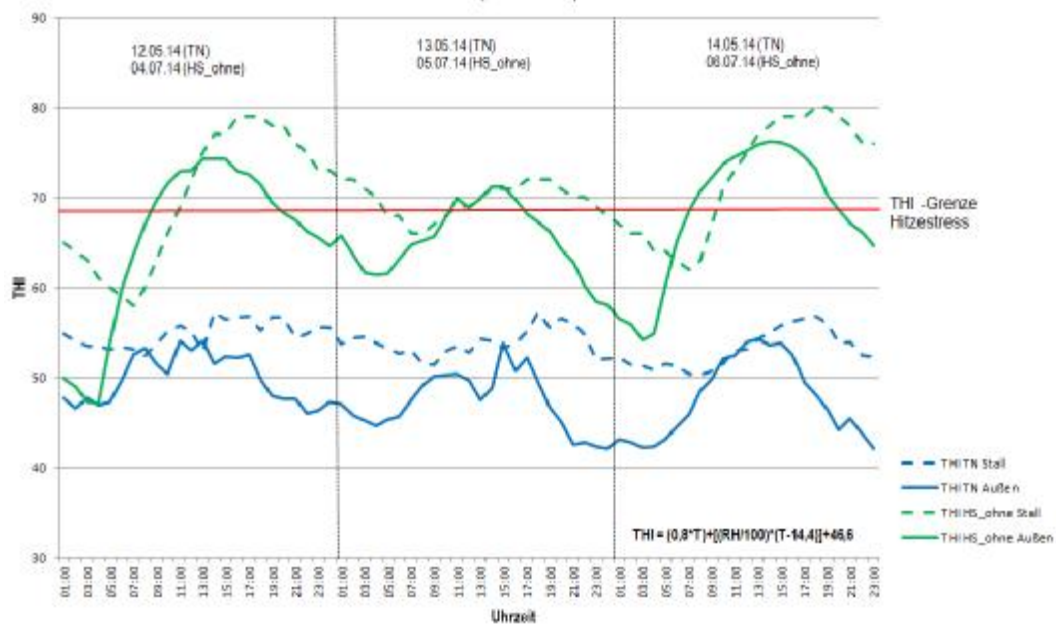


Abbildung 30: Vergleich THI im Stall und im Außenbereich im Jahr 2014 unter Thermoneutralen Bedingungen und Hitzestressbedingungen ohne Ventilatoreinsatz

1.4. Globalstrahlung

Die Globalstrahlung im Außenbereich wurde durch die Wetterstation südlich des Stalles erfasst. Da während der Nachstunden (von ca. 20:00 bis ca. 05:00 Uhr) keine Strahlung auftrat wurde zur besseren Vergleichbarkeit die Strahlungsleistung als Summe eines Tages berechnet.

Die durchschnittliche Globalstrahlung während der Thermoneutralen Phase lag in der Tagessumme bei 3,5 kWh/m². Während der Hitzestressphase ohne Ventilatorunterstützung betrug die Tagessumme der Globalstrahlung im Mittel 7,2 kWh/m² und in der Hitzestressphase mit Ventilation 5,6 kWh/m² (Abbildung 31).

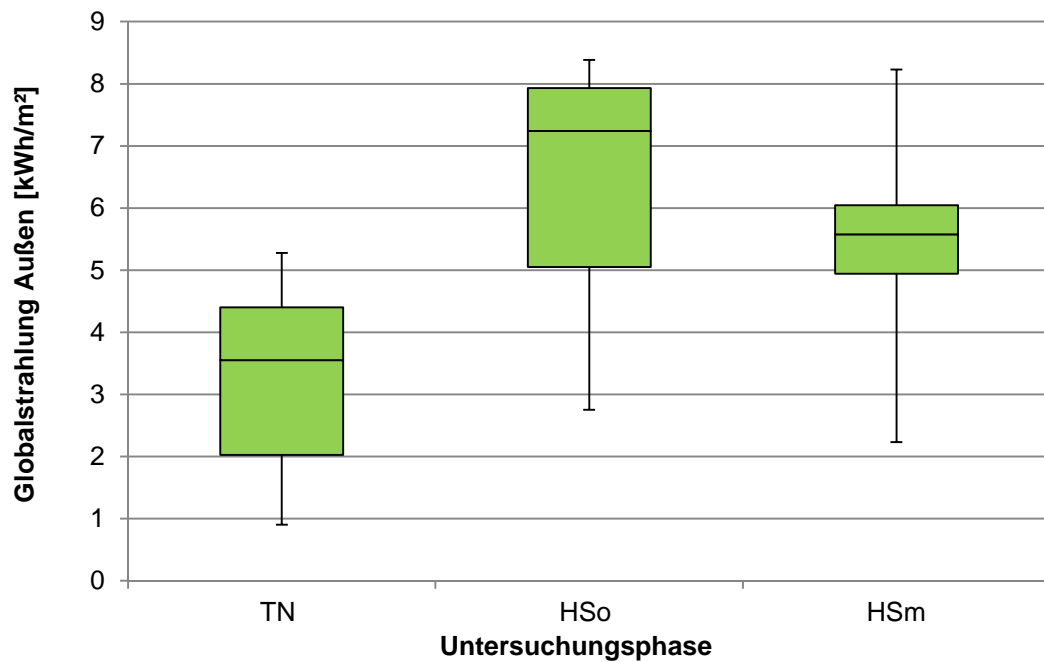


Abbildung 31: Tagessumme und Streuwerte der Globalstrahlung im Außenbereich während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015

Beim Vergleich zwischen dem THI im Stall und der Globalstrahlung fand sich nur eine geringe Korrelation ($\rho = 0,050$; $p < 0,001$).

1.5. Strömungssensoren

Aus den 13 im Stall verteilten Strömungssensoren wurde für jede Stunde ein Durchschnittswert aller Sensoren ermittelt und mit diesem weitere Berechnungen durchgeführt.

Die durchschnittliche Luftströmung im Stall betrug während der Thermoneutralen Phase 0,53 m/s. Im Maximum konnte hier eine Strömung von 1,02 m/s erreicht werden. In der Hitzestressphase ohne Ventilatoren betrug die mittlere Luftströmung im Stall 0,52 m/s, mit einem Maximum von 1,92 m/s. Etwas höher lagen die Werte der Hitzestressphase mit Ventilation mit im Durchschnitt 0,75 m/s und 2,14 m/s im Maximum (Abbildung 32).

Der Unterschied zwischen der Thermoneutralen und der Hitzestressphase ohne Ventilatoren zur Hitzestressphase mit Einsatz von Ventilatoren war dabei signifikant ($p < 0,001$).

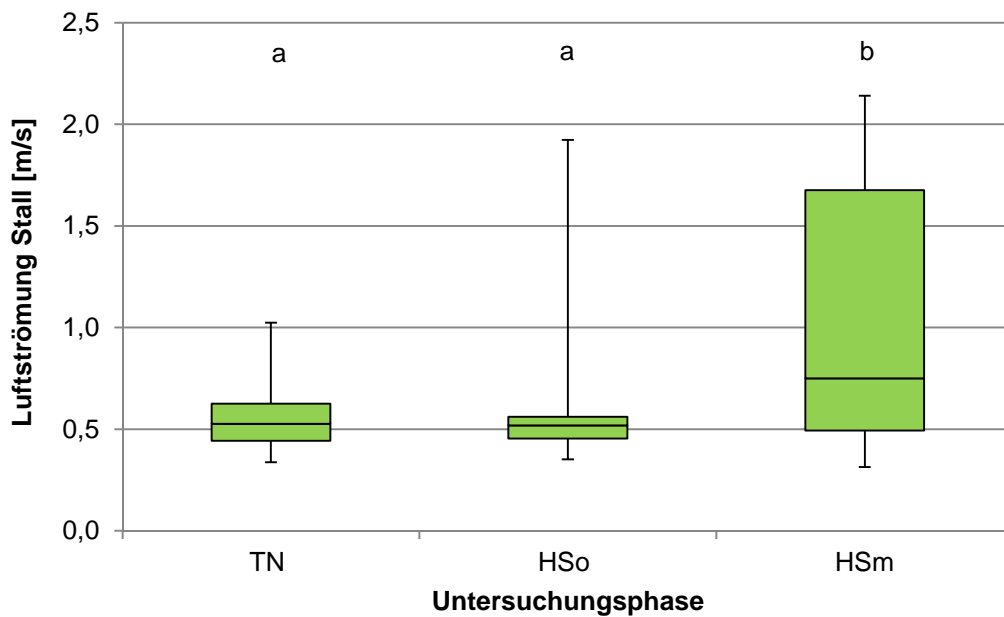


Abbildung 32: Mittlere Luftströmung und Streuwerte im Stall während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant, $p < 0,05$)

2. Tierparameter

2.1. Physiologische Parameter

Bei den physiologischen Parametern wurden die Atemfrequenz der Tiere, die Körpertemperatur, die Herzfrequenz und die Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot untersucht.

2.1.1. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz der Kühe reagierte sehr schnell auf ansteigende Stalltemperaturen und den THI im Stall und stieg während der Hitzestressphasen zum Teil auf Werte deutlich über der physiologischen Obergrenze von 40 Atemzügen pro Minute an. Die durchschnittliche Atemfrequenz während der Thermoneutralen Phase lag bei 24 Atemzügen/min. In der Hitzestressphase ohne Ventilatoren stieg sie im Schnitt auf 40 Atemzüge/min an, jedoch traten hier im Maximum, tierindividuell, Werte von bis zu 132 Atemzüge/min auf. Die mittlere Atemfrequenz der Hitzestressphase mit Ventilation lag bei 36 Atemzügen pro Minute (Abbildung 33).

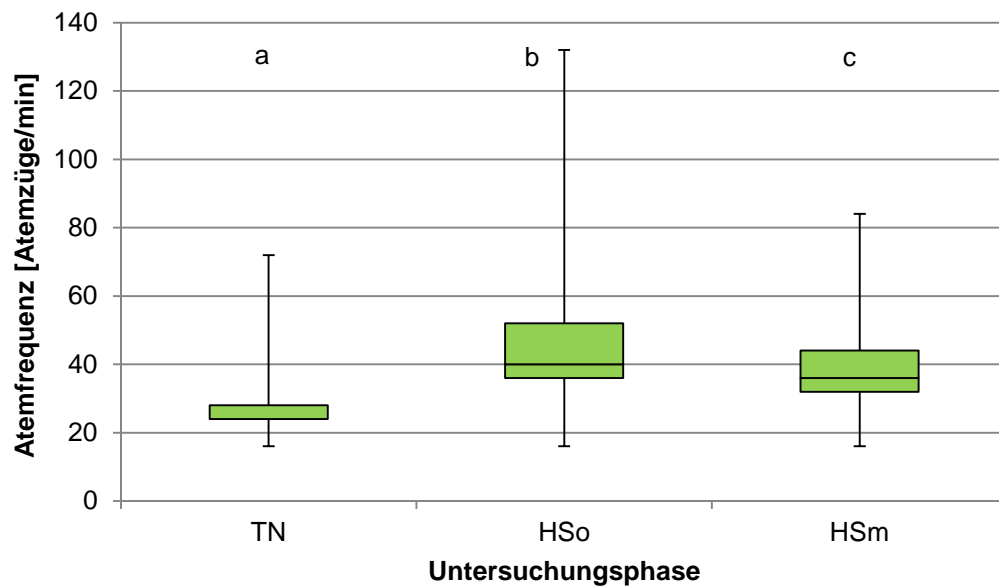


Abbildung 33: Mittlere Atemfrequenz und Streuwerte der Fokuskühe (n = 24) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b, c = signifikant; $p < 0,05$)

Die Atemfrequenz korrelierte mit allen Klimaparametern, wobei die deutlichste Korrelation mit dem THI im Stall und der Lufttemperatur im Stall auftrat (Tabelle 10).

Tabelle 10: Spearman Korrelation der Atemfrequenz mit den Klimaparametern

Parameter	Spearman-Korrelation mit Atemfrequenz	Signifikanz
THI Stall	$\rho = 0,665$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Stall	$\rho = 0,663$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,308$	$p < 0,001$
THI Außenbereich	$\rho = 0,608$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = 0,625$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,331$	$p < 0,001$

Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren unterschied sich die Atemfrequenz signifikant ($p < 0,001$) von der thermoneutralen Zone und von der Hitzestressphase mit Ventilatoren. So betrug der Unterschied zur Thermoneutralen Phase ca. 18 Atemzüge/min, zur Hitzestressphase mit Ventilatoren etwa 7 Atemzüge pro Minute. Zwischen der Thermoneutralen Phase und der Hitzestressphase mit Ventilatoren konnte ebenfalls ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p < 0,001$).

Wurde die Laktationsgruppe, unabhängig von der Untersuchungsphase, mit einbezogen, zeigte sich, dass sich die Kühe in der späten Laktation mit im Schnitt 35 Atemzügen/min signifikant von denen der Früh-laktation (38 Atemzügen/min; $p < 0,001$) und der mittleren Laktation (37 Atemzügen/min; $p < 0,001$) unterschieden. Jedoch war dieser Einfluss geringer als der des THI bzw. der Lufttemperatur.

2.1.2. Körpertemperatur

Die Körpertemperatur lag während der Hitzestressphasen sowohl ohne, als auch mit Ventilatoreinsatz etwas höher als während der Thermoneutralen Phase. Der Durchschnitt betrug in der Thermoneutralen Phase 38,3 °C, während er sowohl in der Hitzestressphase ohne, als auch mit Ventilatoreinsatz im Mittel bei 38,5 °C lag (Abbildung 34). Die physiologische Obergrenze von 39 °C wurde in Einzelfällen, vor allem während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren überschritten.

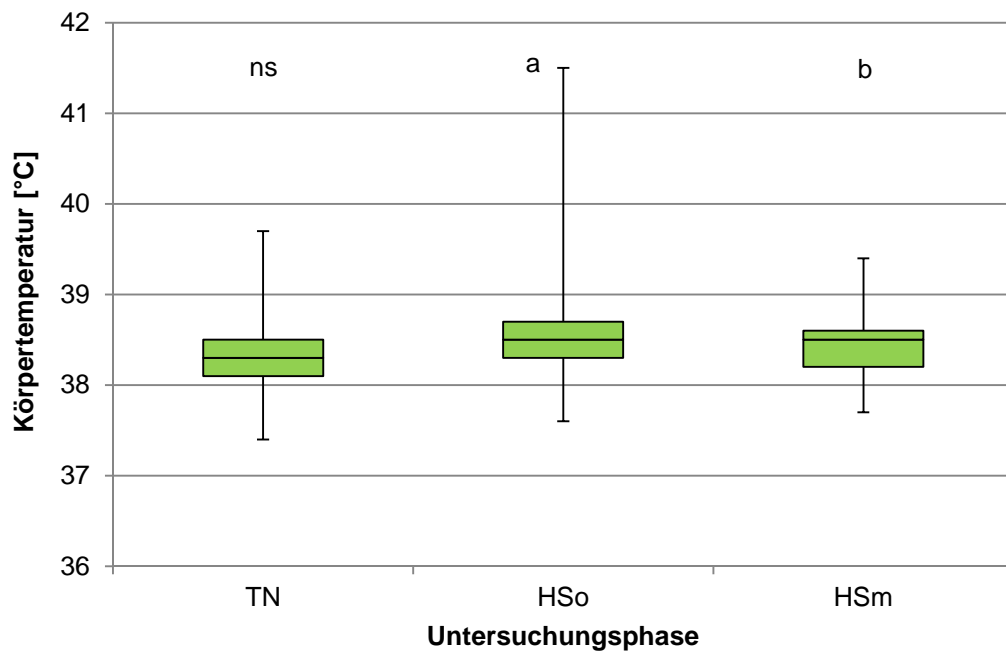


Abbildung 34: Mittlere Körpertemperatur und Streuwerte der Fokuskühe (n = 24) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$; ns = nicht signifikant)

Von den Klimaparametern korrelierten der THI und die Lufttemperatur im Stall am stärksten mit der Körpertemperatur. Somit hatten beide einen gleich großen Einfluss auf die Körpertemperatur eines Tieres (Tabelle 11).

Tabelle 11: Spearman Korrelation der Körpertemperatur mit den Klimaparametern

Parameter	Spearman-Korrelation mit Körpertemperatur	Signifikanz
THI Stall	$\rho = 0,346$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Stall	$\rho = 0,346$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,173$	$p < 0,001$
THI Außenbereich	$\rho = 0,268$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = 0,292$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,215$	$p < 0,001$

Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren lag die Körpertemperatur etwas über der Körpertemperatur der Thermoneutralen Phase bzw. der Hitzestressphase mit Ventilatoren. Der Unterschied zwischen den beiden Hitzestresssituationen war, trotz gleichem Median, signifikant ($p < 0,001$). Die Thermoneutrale Phase unterschied sich jedoch nicht signifikant von der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz und der Hitzestressphase mit Ventilatoren.

Vergleicht man die Laktationsstadien über alle Phasen, so zeigt sich zwischen der Früh- und der Spätlaktation ein signifikanter Unterschied von $0,3\text{ °C}$ ($p = 0,015$). Somit blieb die Körpertemperatur auf einem niedrigeren Niveau bzw. stieg weniger stark an, je weiter die Laktation voranschritt.

2.1.3. Herzfrequenz

Die Herzfrequenz der Fokustiere betrug während der Thermoneutralen Phase im Mittel 78 bpm. Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren lag die durchschnittliche Herzfrequenz bei 84 bpm und während des Einsatzes von Ventilatoren bei 82 bpm (Abbildung 35). Während über alle Phasen 75 % der Werte eine maximale Herzfrequenz von 90 bpm aufwiesen, wurden in Einzelfällen Herzfrequenzen von bis zu 160 bpm erfasst.

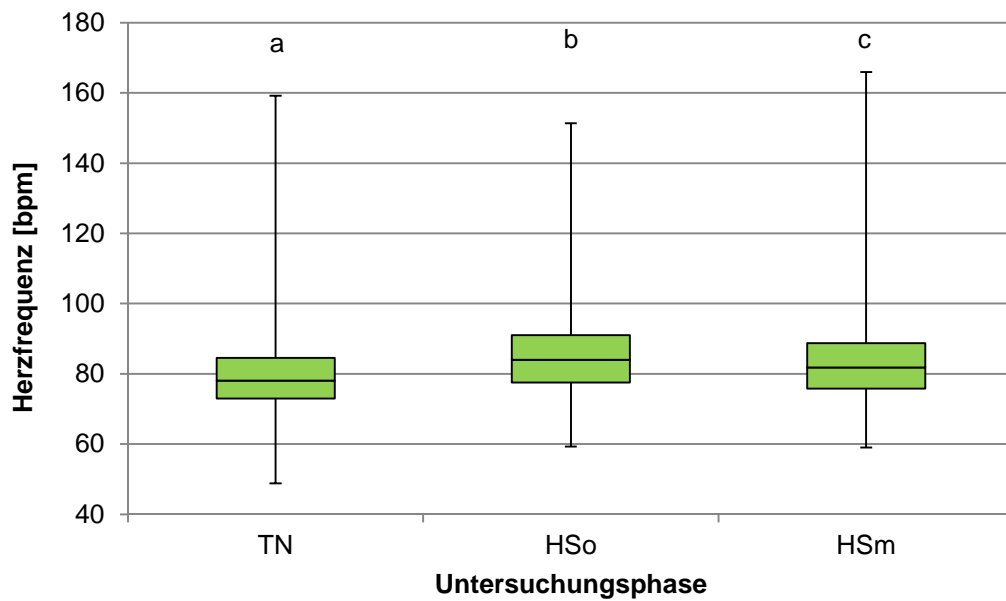


Abbildung 35: Mittlere Herzfrequenz und Streuwerte der Fokuskühe (n = 12) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b, c = signifikant; $p < 0,05$)

Auch hier korrelierten der THI und die Lufttemperatur im Stall am stärksten mit der Herzfrequenz und wiesen somit den größten Einfluss aller Klimaparameter auf die Herzfrequenz auf (Tabelle 12).

Tabelle 12: Spearman Korrelation der Herzfrequenz mit den Klimaparametern

Parameter	Spearman-Korrelation mit Herzfrequenz	Signifikanz
THI Stall	$\rho = 0,665$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Stall	$\rho = 0,663$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,308$	$p < 0,001$
THI Außenbereich	$\rho = 0,608$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = 0,625$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,331$	$p < 0,001$

Die Herzfrequenz der Thermoneutralen Phase und der Hitzestressphase mit Ventilatoren unterschieden sich signifikant ($p = 0,012$) voneinander. Noch deutlicher ausgeprägt war dies bei der Hitzestressphase ohne Ventilatoren gegenüber der Thermoneutralen Phase ($p < 0,001$) beziehungsweise der Hitzestressphase mit Ventilatoren ($p < 0,001$).

Bei Betrachtung des Einflusses des Laktationsstadiums über alle Phasen, zeigte sich, dass die Herzfrequenz der Kühe in der späten Laktation signifikant geringer war ($p < 0,001$) als die Herzfrequenz der Tiere in der frühen oder mittleren Laktation.

2.1.4. Konzentration Kortisolmetaboliten

Die Menge an Kortisolmetaboliten im Kot (FCM) wurde am Morgen des jeweils letzten Untersuchungstags einer Phase ermittelt. Somit konnten, aufgrund der verzögerten Passagezeit der Ingesta von durchschnittlich 12 Stunden (LEXEN et al., 2008; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2010; PALME, 2012), Rückschlüsse auf die Stressbelastung des Vortages gezogen werden. Die Konzentration der fäkalen Kortisolmetaboliten betrug während der Thermoneutralen Phase im Durchschnitt 16,1 ng FCM/g Kot. In der Hitzestressphase ohne Ventilatoren stieg die Menge auf 44,3 ng FCM/g Kot im Mittel an und lag in der Hitzestressphase mit Venti-

latoren bei durchschnittlich 24,6 ng FCM/g Kot (Abbildung 36). Während 75 % der Kortisolmetaboliten im Kot unter einer Konzentration von 70 ng FCM/g Kot blieben, traten vereinzelte Werte von bis zu 190 ng FCM/g Kot, gerade während der Hitzestressphasen ohne Ventilatoreinsatz, auf.

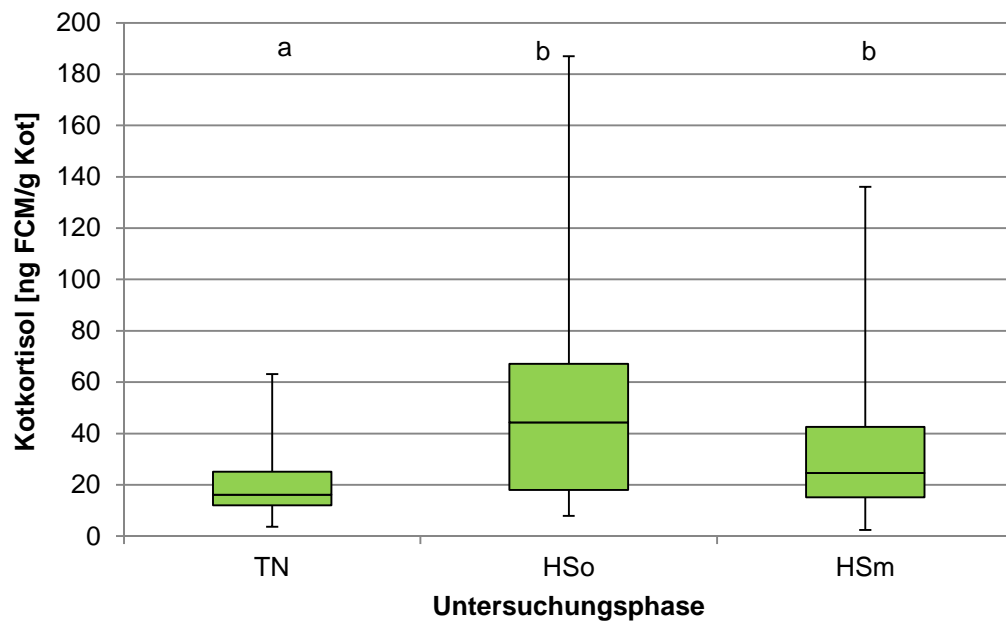


Abbildung 36: Mittler Menge und Streuwerte der fäkalen Kortisolmetaboliten (FCM) der Fokuskühe (n = 24) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$)

Aufgrund der Passagezeit der Ingesta von durchschnittlich 12 Stunden (LEXEN et al., 2008; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2010; PALME, 2012), wurde die Menge an Kortisolmetaboliten im Kot mit den Klimaparametern des Vortages verglichen. Alle Klimaparameter korrelierten hochsignifikant mit den fäkalen Kortisolmetaboliten. Der Zusammenhang dabei war jedoch nur geringfügig (Tabelle 13).

Tabelle 13: Spearman Korrelation der Kortisolmetaboliten im Kot mit den Klimaparametern des Vortages

Parameter	Spearman-Korrelation mit Kortisolmetaboliten im Kot	Signifikanz
THI Stall	$\rho = 0,362$	$p < 0,001$
Lufttemperatur Stall	$\rho = 0,362$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,227$	$p = 0,012$
THI Außenbereich	$\rho = 0,264$	$p = 0,003$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = 0,362$	$p < 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,303$	$p = 0,001$

Des Weiteren wurde die Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot mit den übrigen physiologischen Parametern Atemfrequenz, Körpertemperatur und Herzfrequenz, die 12 Stunden zuvor erfasst wurden, in Beziehung gesetzt. Auch hier zeigte sich, dass die Menge der Kortisolmetaboliten im Kot mit allen drei weiteren physiologischen Parametern hochsignifikant korrelierte (Tabelle 14).

Tabelle 14: Spearman Korrelation der Kortisolmetaboliten im Kot mit weiteren, 12 Stunden zuvor erfassten, physiologischen Parametern

Parameter	Spearman-Korrelation mit Kortisolmetaboliten im Kot	Signifikanz
Atemfrequenz	$\rho = 0,350$	$p < 0,001$
Körpertemperatur	$\rho = 0,272$	$p = 0,004$
Herzfrequenz	$\rho = 0,314$	$p = 0,023$

Die Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot unterschied sich während der Thermoneutralen Phase signifikant sowohl von der Hitzestressphase ohne Ventilatoren ($p = 0,038$) als auch von derjenigen mit Ventilato-

reinsatz ($p = 0,028$). Zwischen den beiden Hitzestressphasen zeigte sich kein signifikanter Unterschied, obwohl die Menge fäkaler Kortisolmetaboliten während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren etwas höher lag.

2.2. Leistungs-Parameter

Die Auswertung der Leistungsparameter erfolgte für die Milchleistung und die Grundfutteraufnahme.

2.2.1. Milchleistung

Die tägliche Milchleistung der Kühe wurde über das AMS automatisch bei jeder Melkung erfasst und mit Hilfe des Melkzeitpunktes sowie der Milchmenge Taganteilig berechnet.

Die durchschnittliche tägliche Milchleistung während der Thermoneutralen Phase lag bei 29,1 kg/d. Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren betrug sie im Mittel 28,4 kg/d und mit Kühlung durch Ventilatoren 28,5 kg/d (Abbildung 37).

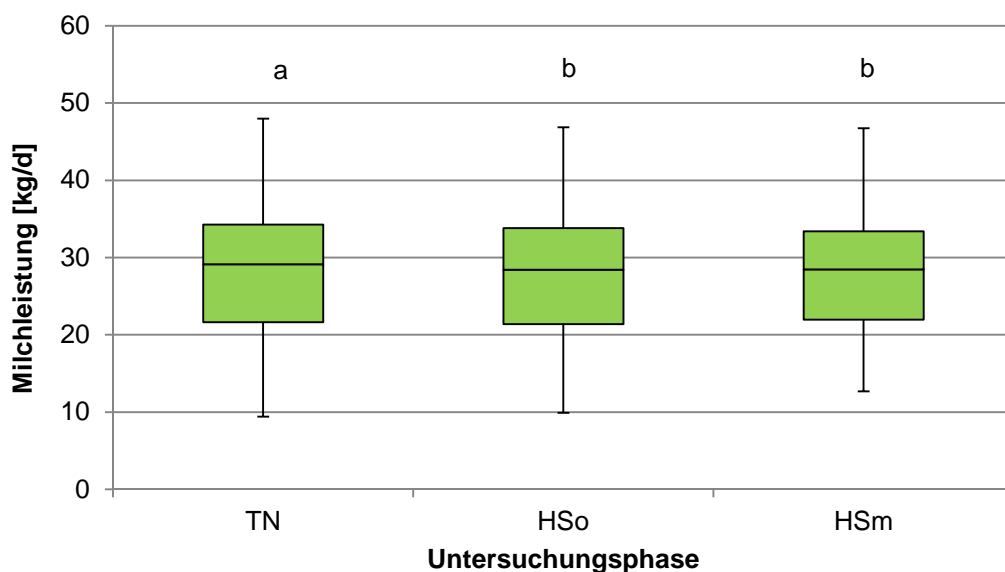


Abbildung 37: Mittlere tägliche Milchleistung und Streuwerte der Fokuskühe ($n = 24$) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (a, b = signifikant; $p < 0,05$)

Die tägliche Milchleistung korrelierte nur mit der relativen Luftfeuchte im Außenbereich (Tabelle 15). Diese negative Korrelation ist jedoch sehr gering.

Tabelle 15: Spearman Korrelation der täglichen Milchleistung mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)

Parameter	Spearman-Korrelation mit Milchleistung	Signifikanz
THI Stall	$\rho = -0,025$	ns
Lufttemperatur Stall	$\rho = -0,033$	ns
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,016$	ns
THI Außenbereich	$\rho = -0,019$	ns
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = -0,027$	ns
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,101$	$p < 0,007$

Die Milchleistung während der Thermoneutralen Phase lag etwas höher als während der beiden Hitzestressphasen. Dieser Unterschied war jedoch signifikant ($p < 0,001$). Zwischen der täglichen Milchleistung der Hitzestressphasen mit und ohne Ventilatoren konnte kein signifikanter Unterschied gefunden werden.

Bei Betrachtung der Laktationsstadien, über alle Untersuchungsphasen, ließ sich, wie zu erwarten, ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Stadien finden. So gaben die Kühe während der Früh-laktation etwa 5 kg Milch/d mehr als in der mittleren Laktation ($p = 0,001$) und ca. 12 kg Milch/d mehr als diejenigen in der Spätlaktation ($p < 0,001$). Die Kühe in der mittleren Laktation produzierten etwa 7 kg Milch/d mehr im Vergleich zu den Tieren in der Spätlaktation ($p < 0,001$).

2.2.2. Grundfutteraufnahme

Bei der Futteraufnahme wurde nur die tägliche Grundfutteraufnahme ausgewertet, da beim Kraftfutter aufgrund von Verdrängungen am Kraftfutter-

automaten die aufgenommene Menge je Tier nicht eindeutig ermittelt werden konnte. Das Grundfutter bestand aus einer Teil-Misch-Ration (PMR), die von den Tieren an den Wiegetrögen nach individueller Erkennung gefressen werden konnte und als Frischmasseaufnahme aufgezeichnet wurde. Die Umrechnung in aufgenommene Trockenmasse (TM) erfolgte anhand von Laborwerten aus regelmäßig entnommenen Futterproben durch das Institut für Tierernährung der Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub.

In der Thermoneutralen Phase nahmen die Tiere täglich im Schnitt 15,08 kg TM pro Tag auf. Die Trockenmasseaufnahme sank während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren auf durchschnittlich 14,44 kg TM/d ab und stieg in der Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz auf 15,35 kg TM/d im Mittel an (Abbildung 38).

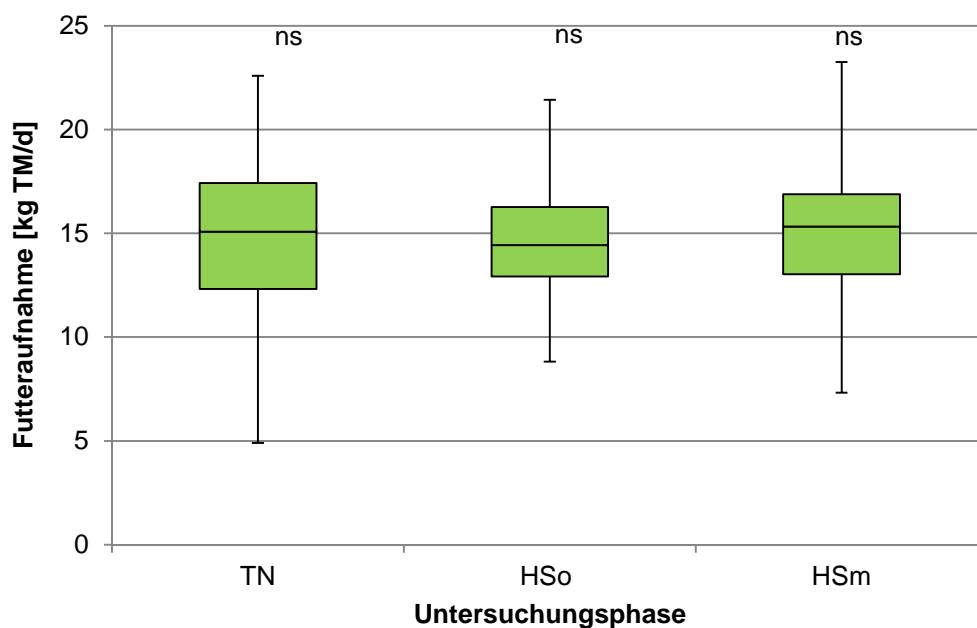


Abbildung 38: Mittlere tägliche Trockenmasseaufnahme und Streuwerte des Grundfutters der Fokuskühe (n = 24) während der drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (ns = nicht signifikant)

Die täglich aufgenommene Trockenmassemenge korrelierte schwach negativ, aber hochsignifikant mit allen Klimaparametern bis auf die relative Luftfeuchte im Stall (Tabelle 16).

Tabelle 16: Spearman Korrelation der täglichen Grundfutteraufnahme mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)

Parameter	Spearman-Korrelation mit TM-Aufnahme	Signifikanz
THI Stall	$\rho = -0,111$	$p = 0,003$
Lufttemperatur Stall	$\rho = -0,125$	$p = 0,001$
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = 0,012$	ns
THI Außenbereich	$\rho = -0,111$	$p = 0,003$
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = -0,111$	$p = 0,003$
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,078$	$p = 0,036$

Zwischen den einzelnen Untersuchungsphasen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, auch wenn ein Rückgang der Futteraufnahme während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren zu beobachten war.

Innerhalb der Laktationsstadien, über alle Phasen, fand sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem frühen und dem späten Laktationsstadium ($p = 0,013$). So nahmen die Tiere in der späten Laktation etwa 1,1 kg TM/d mehr auf als während der Frühaktation. Die Futteraufnahme der mittleren Laktation unterschied sich von den beiden anderen Laktationsstadien nicht signifikant.

Bei Betrachtung des mengenmäßigen Anteils der Frischmasse des Grundfutters, der im Jahr 2014 tagsüber, zwischen 05:00 und 22:00 Uhr aufgenommen wurde, zeigt sich, dass in der Thermoneutralen Phase im Durchschnitt 85,0 % des Futters tagsüber gefressen wurden. Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren waren es 88,5 % und in der Hitzestressphase mit Unterstützungskühlung durch die Ventilatoren 89,4 % (Abbildung 39). Für das Jahr 2015 standen die Werte nicht zur Verfügung.

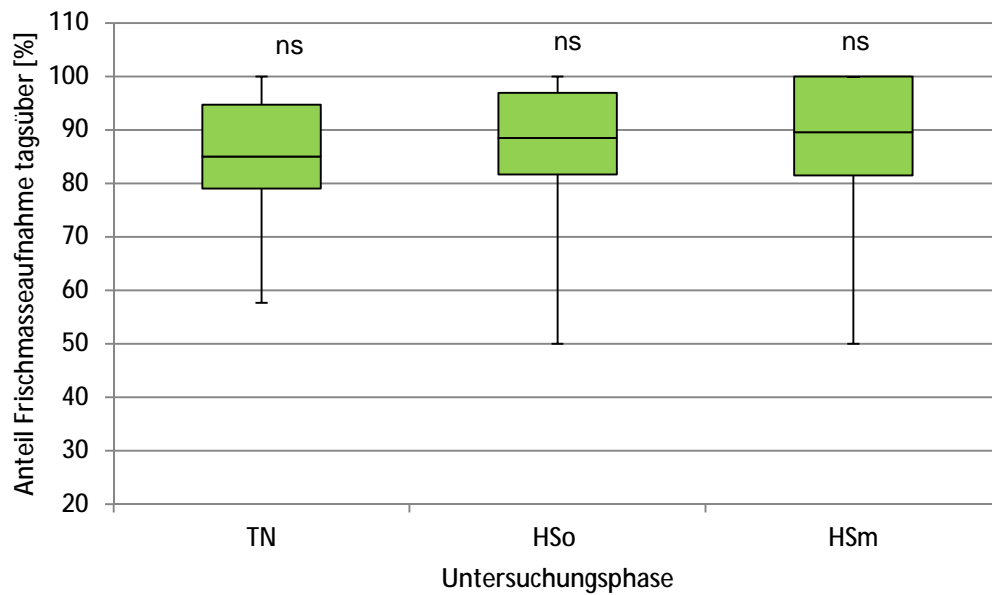


Abbildung 39: Anteil und Streuwerte der tagsüber (05:00 bis 22:00 Uhr) von den Fokuskühen (n = 24) aufgenommenen Grundfutter-Frischmasse im Jahr 2014 (ns = nicht signifikant)

Es zeigte sich hier ein geringfügig höherer Anteil an tagsüber verzehrter Futtermenge während der Hitzestressphase. Jedoch war der Unterschied zwischen den einzelnen Phasen nicht signifikant.

2.3. Verhaltens-Parameter

Als Verhaltensparameter wurde die tägliche Gesamtliegedauer je Kuh mit Hilfe der ENGS-Pedometer (Rosh Pina, Israel) erfasst.

Die durchschnittliche Liegezeit während der Thermoneutralen Phase betrug 648 min pro Tag. Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren lagen die Tiere im Mittel 676 min/d und während der Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz 604 min/d (Abbildung 40).

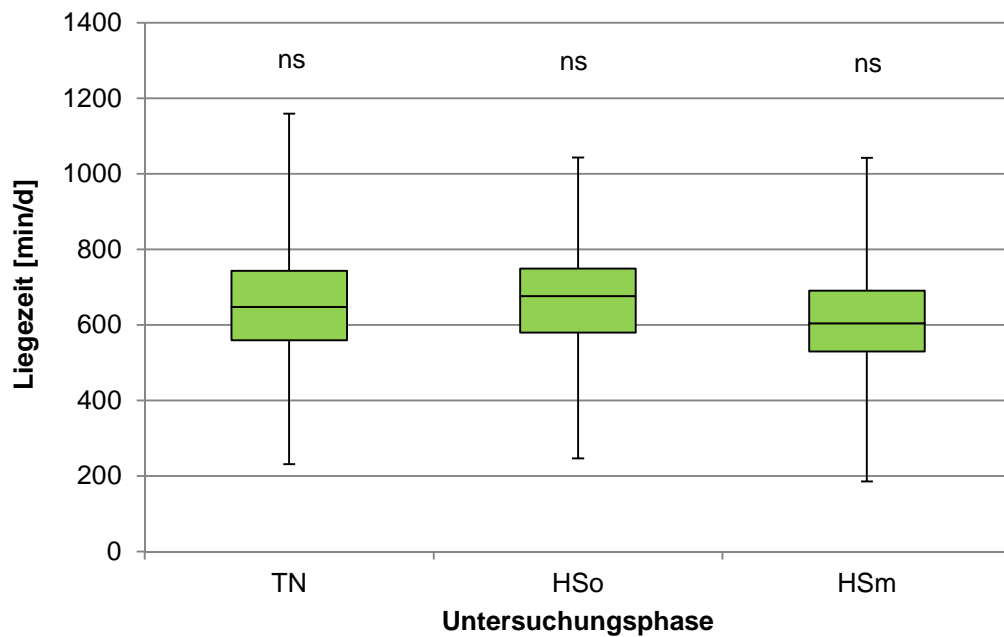


Abbildung 40: Mittlere tägliche Liegezeit und Streuwerte der Fokuskühe (n = 24) während der je drei Untersuchungsphasen (TN = Thermoneutrale Phasen, HSo = Hitzestressphasen ohne Ventilatoren, HSm = Hitzestressphasen mit Ventilatoreinsatz) in den Jahren 2014 und 2015 (ns = nicht signifikant)

Die Liegezeiten zeigten keine Korrelationen mit den Klimaparametern THI und Lufttemperatur im Stall und im Außenbereich (Tabelle 17). Die gefundenen Korrelationen mit der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall und im Außenbereich waren sehr gering.

Tabelle 17: Spearman Korrelation der täglichen Liegezeit mit den Klimaparametern (ns = nicht signifikant)

Parameter	Spearman-Korrelation mit Liegezeit	Signifikanz
THI Stall	$\rho = -0,011$	ns
Lufttemperatur Stall	$\rho = -0,037$	ns
Rel. Luftfeuchtigkeit Stall	$\rho = -0,105$	$p = 0,014$
THI Außenbereich	$\rho = -0,032$	ns
Lufttemperatur Außenbereich	$\rho = -0,039$	ns
Rel. Luftfeuchtigkeit Außenbereich	$\rho = -0,172$	$p < 0,001$

Die Liegezeiten zwischen den einzelnen Untersuchungsphasen wichen nicht signifikant voneinander ab.

Die Laktationsgruppe, über alle Phasen, hatte hingegen einen Einfluss auf die tägliche Liegedauer. So lagen die Tiere der Früh-laktation im Schnitt 626 min/d, in der mittleren Laktation 618 min/d und in der Spätlaktation durchschnittlich 691 min/d und somit deutlich länger. Der Unterschied der Spätlaktation zur mittleren ($p = 0,004$) und zur Früh-laktation ($p = 0,011$) war dabei signifikant.

VI. DISKUSSION

1. Klima

Die **Lufttemperatur** im Stall während der Hitzestressphasen und der Thermoneutralen Phase im Stall sowie im Außenbereich unterschieden sich deutlich voneinander. Dabei lag die Lufttemperatur während der Thermoneutralen Phase sowohl im Stall als auch im Außenbereich mit einer mittleren Tagesdurchschnittstemperatur von 11,7 °C (Stall) bzw. 8,6 °C (Außen) im Bereich der in der Literatur angegeben thermoneutralen Zone für Rinder von vier bis 16 °C (HEIDENREICH et al., 2005).

Während der Hitzestressphasen wurden sowohl mit, als auch ohne Ventilatoreinsatz ähnliche mittlere Tagesdurchschnittswerte mit 22,6 °C (HSo) bzw. 22,1 °C (HSm) im Stall erreicht. Bei Betrachtung der Lufttemperatur im Stall im Tagesverlauf, traten bei beiden Hitzestresssituationen Werte bis zu 30 °C im Maximum auf. Somit lagen die Temperaturen bereits in dem Bereich oberhalb von 25 °C, in dem laut MAČUHOVÁ et al. (2008) und BERMAN et al. (2005) eine sensible Wärmeabgabe durch das Tier beinahe unmöglich ist. Auch hier zeigte sich wieder, dass die Lufttemperatur im Stall über der Lufttemperatur im Außenbereich lag, wenn auch nur gering. Es ist davon auszugehen, dass die Stallinnentemperatur der Außentemperatur folgt, was sich auch in der starken Korrelation zwischen beiden Werten zeigt. Die höhere Temperatur im Stall ist durch den zusätzlichen Wärmeeintrag der Kühe bedingt, die ihre Körperwärme an die Umgebung abgeben.

Sowohl während der thermoneutralen Phase, als auch während der Hitzestressphase mit Ventilatoren unterschieden sich die mittleren Tagesdurchschnittswerte der **relativen Luftfeuchtigkeit** im Stall kaum voneinander (TN = 72,3 %, HSm = 69,4 %). Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit der Tagesdurchschnittswerte wies mit 65,5 % während der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz hingegen etwas geringere Werte auf. Dies widerspricht den Erwartungen, dass während der Hitzestressphasen ohne Ventilatoren höhere relative Luftfeuchten im Stall herrschen, da die Tiere vermehrt Wasserdampf zur Wärmeregulation abgeben. BRADE (2013)

spricht von bis zu 35 Liter pro Tier und Tag. Zudem fehlt der Abtransport der Luftfeuchte aus dem Stall durch zusätzliche Ventilation. Allerdings handelt es sich bei der Messung um die relative und nicht die absolute Luftfeuchtigkeit. Diese lag vermutlich während der Hitzestressphasen ohne Ventilatoren etwas höher, da die Lufttemperatur höher war als während der Thermoneutralen Phase und so auch das Wasserspeichervermögen der Luft. Denn mit steigender Lufttemperatur nimmt die Wasserdampfmenge zu, die zur Sättigung der Luft mit Wasserdampf benötigt wird. Das hat zur Folge, dass die relative Luftfeuchtigkeit mit steigender Umgebungstemperatur abnimmt. Es ist anzunehmen, dass die absolute Luftfeuchtigkeit während der Hitzestressphasen im Stall angestiegen ist, da die Tiere mit steigender Umgebungstemperatur vermehrt Feuchtigkeit durch evaporative Wärmeabgabe an ihre Umgebung freisetzen. Die Tatsache, dass mit steigender Umgebungstemperatur die relative Luftfeuchtigkeit sinkt, zeigt sich auch in der negativen Korrelation der beiden Parameter. Insgesamt lag die relative Luftfeuchte im Tagesdurchschnitt und im Tagesverlauf im Stall innerhalb des in der Literatur angegebenen optimalen Bereiches von 50 – 80 % (MAČUHOVÁ et al., 2008; BVET, 2009; ZENTNER, 2012).

Der **THI** im Stall lag im Mittel während der Thermoneutralen Phase mit 54 deutlich unter dem von ZIMBELMAN (2008) angegebenen Schwellenwert von 68. Dieser wird in der Thermoneutralen Phase auch im Tagesverlauf im Maximum nicht erreicht, so dass davon ausgegangen werden kann, dass keine Belastung durch Hitzestress für die Kühe im Stall vorlag.

Während der Hitzestressphasen lag der THI im Stall, ebenso wie die Lufttemperatur, im Mittel auf fast gleichem Niveau ($H_{So} = 70$; $H_{Sm} = 69$) und damit jeweils über der von ZIMBELMAN (2008) angegebenen Schwelle von 68 für das Auftreten von Hitzestress. Im Tagesverlauf wurden im Maximum sogar Werte von bis zu 80 erreicht, was laut COLLIER et al. (2012) bereits einer starken Hitzestressbelastung entspricht. Ebenso wie bei der Lufttemperatur zeigte sich, dass der THI im Stall über dem THI im Außenbereich lag, was auch im Vergleich der THI Verläufe zwischen Thermoneutraler Phase und Hitzestressphase ohne Ventilatoren im Jahr 2014 (Abbildung 30) gezeigt werden konnte. Dies deckt sich auch mit den Er-

gebnissen von SANKER (2012), die ebenfalls im Stall höhere THI Werte gemessen hatte als im Außenbereich. Der THI im Stall wies eine hohe Korrelation mit dem THI im Außenbereich auf ($\rho = 0,844$) und es zeigte sich, dass zwischen dem THI und der Lufttemperatur eine hohe Korrelation vorlag, sowohl im Stall ($\rho = 0,997$), als auch im Außenbereich ($\rho = 0,834$). Dies ermöglicht es in der Praxis, die Messung der relativen Luftfeuchte und somit die Bestimmung des THI zu vernachlässigen und die Belastung der Tiere nur anhand der Lufttemperatur abzuschätzen.

Zudem ist zu beachten, dass bei der Beurteilung einer vorliegenden Hitzestressbelastung für die Kühe sowohl anhand der Lufttemperatur, als auch des THI Messwerte aus dem Stall genutzt werden sollten. Falls hier keine entsprechenden Messsensoren zur Verfügung stehen, können auch Außenklimawerte genutzt werden, um den THI zu ermitteln. Dem THI im Außenbereich sollten dann drei bis vier THI-Punkte aufgeschlagen werden, um einen Näherungswert für den THI im Stall zu erhalten.

Bei Betrachtung der **Globalstrahlung** zeigte sich, dass, obwohl vor allem während der Hitzestressphasen eine hohe Globalstrahlung über die Wetterstation im Außenbereich gemessen werden konnte, kein Zusammenhang mit dem THI im Stall vorlag. Es ist davon auszugehen, dass die gefundene Korrelation nur zufällig auftrat, aufgrund der Vielzahl der vorhandenen Werte. Grund für den fehlenden Einfluss der Globalstrahlung auf die Erwärmung im Stall und somit den THI könnte die Isolierung des Daches, mit Holzunterschalung, Ziegel und oben aufgelagerten Photovoltaik-elementen sein, die nur eine geringfügige Erwärmung an der Dachunterseite unter den vorliegenden Bedingungen entstehen lassen. Zudem wird dieser Effekt durch den hohen Luftraum des Stalles aufgehoben (BERMANN, 2005).

Die **Luftströmung** im Stall zeigte für die Thermoneutrale Phase und die Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz ähnliche Werte von 0,53 m/s (TN) bzw. 0,52 m/s (HSo). Liefen die Ventilatoren während der Hitzestressphase, so stieg die mittlere Luftströmung im Stall auf Werte von 0,75 m/s an. Im Maximum wurden hier 2,14 m/s erreicht. Damit konnte die von TOBER et al. (2011) und LOEBSIN et al. (2012) empfohlene Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s für eine hohe Kühlwirkung nicht erzielt werden. Jedoch führt

bereits eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um 0,5 m/s bei einer Umgebungstemperatur von 21 °C zu einer Kühlwirkung von 1,87 °C (MAČUHOVÁ et al., 2008; TVT-MERKBLATT 100, 2010) Dies konnte bei den vorliegenden Bedingungen erreicht werden. Auch zeigte sich, dass die Luftströmung während der Hitzestressphase mit Ventilatoreinsatz signifikant höher war als während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren. Dies macht deutlich, dass der Einsatz von Ventilatoren eine Erhöhung der Luftströmung bewirkt und dadurch die sensible Wärmeabgabe der Kühe durch Zerstörung des die Kuh umgebenden Wärmepolsters unterstützen kann. Auch kann die technische Ventilation dazu beitragen, den von den Tieren bei evaporativer Wärmeabgabe abgegebenen Wasserdampf aus dem Stall zu transportieren und somit die absolute Luftfeuchte zu senken. Wichtig ist hierbei der Einsatz geeigneter Ventilatoren, die eine ausreichende Leistung und Wurfweite aufbringen sowie der optimale Einbau im Stall, der von den örtlichen Gegebenheiten abhängt.

2. Physiologische Parameter

2.1. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz lag während der Thermoneutralen Phase mit durchschnittlich 24 Atemzügen pro Minute innerhalb des physiologischen Bereiches von zehn bis 30 Atemzügen/min (BAUMGARTNER, 2009). Sie unterschied sich damit stark von den Werten der beiden Hitzestressphasen. Wobei während der Hitzestressphase mit Ventilator Kühlung die mittlere Atemfrequenz bei 36 Atemzügen/min lag und somit noch nicht über 40 Atemzügen/min, also dem Bereich, ab dem von Tachypnoe, also einer beschleunigten Atemtätigkeit gesprochen werden kann (STÖBER, 2012). Jedoch konnten auch in dieser Phase bereits Tiere mit einer Atemfrequenz von bis zu 84 Atemzügen/min beobachtet werden, die damit in den Bereich von 70 – 90 Atemzügen/min kamen, der laut BERMAN (2005) und ZIMBELMAN (2008) einen Hinweis auf Hitzestress gibt.

Von diesen beiden Phasen unterschied sich noch einmal stark die Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz. Hier zeigten die Tiere eine durchschnittliche Atemfrequenz von 40 Atemzügen/min und wiesen bereits eine beginnende Tachypnoe auf. Besonders auffällig war, dass bei einigen Tie-

ren Atemfrequenzen von bis zu 132 Atemzüge/min auftraten. Sie zeigten bereits Anzeichen von starkem Hitzestress mit Atemfrequenzen bis zu 160 Atemzügen/min (HEIDENREICH et al., 2005; COLLIER et al., 2012). Dass in diesem Fall die mittlere Atemfrequenz noch nahe am physiologischen Bereich lag, ist vermutlich auf die Abkühlung während der Nachtstunden zurückzuführen, in denen sich die Kühe wieder erholen konnten, so dass erst im Laufe des Tages, mit steigendem THI und steigender Lufttemperatur, die Atemfrequenz wieder zunahm.

Die positive Korrelation der Atemfrequenz mit dem THI und der Lufttemperatur im Stall zeigt sehr deutlich, dass mit steigendem THI bzw. steigender Lufttemperatur, also steigender klimatischer Belastung für die Kuh, die Atemfrequenz ansteigt. Somit kann die Atemfrequenz hier sehr gut als Indikator für Hitzestress eingesetzt werden. Zudem erhöht sich die Atemfrequenz fast unmittelbar mit der steigenden Belastung (BROWN-BRANDL et al., 2005; TUCKER und SCHÜTZ, 2009). Die einfache Anwendbarkeit, ohne direkten Kuhkontakt, ermöglicht es in der Praxis somit schnell die Atemfrequenzen einzelner Tiere einer Herde zu zählen. Es empfiehlt sich, zur Beurteilung einer Hitzestressbelastung, die Atemfrequenz mehrerer Tiere zu erfassen, da im Einzelfall erhöhte Atemfrequenzen auch bei körperlicher Anstrengung, psychischer Erregung, Krankheit oder Fieber auftreten können (BAUMGARTNER, 2009).

Der signifikante Unterschied zwischen der späten Laktation und der frühen bzw. mittleren Laktation weist darauf hin, dass die Stoffwechselbelastung der Tiere mit sinkender Milchleistung gegen Ende der Laktation abnimmt. Somit sinkt auch ihre körpereigene Wärmeproduktion und der Schwellenwert, ab dem die Tiere unter Hitzestress leiden, steigt an. In Folge davon setzt auch die evaporative Wärmeabgabe durch forcierte Atmung erst bei einer höheren thermalen Belastung ein.

2.2. Körpertemperatur

Obwohl die Körpertemperatur in allen drei Untersuchungssituationen im Mittel unterhalb der physiologischen Obergrenze von 39,0 °C (AUERNHAMMER; 1995) bzw. 38,8 °C (JESSEN, 2005; BAUMGARTNER, 2009) lag, unterschied sie sich in der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, in

der es zu Werten bis 41,5 °C im Maximum kam, dennoch signifikant von der Hitzestressphase mit Ventilatoren (Maximum 39,4 °C). Dadurch zeigte sich, dass einzelne Tiere bereits unter mäßigen Hitzestressbedingungen, wie sie in dieser Untersuchung vorherrschten, an die Grenzen ihrer Körpertemperatur - Regulation kamen und eine leichte Hyperthermie eintrat.

Der Unterschied zwischen den Tieren der frühen und späten Laktation wies auch hier darauf hin, dass die Stoffwechselbelastung und somit die körpereigene Wärmeproduktion der Tiere mit sinkender Milchleistung gegen Ende der Laktation abnimmt.

Die Messung der Körpertemperatur eignet sich daher ebenfalls, um eine Hitzestressbelastung von Kühen nachzuweisen, da mit steigendem THI und steigender Lufttemperatur die Körpertemperatur ansteigt. Hier ist jedoch zu beachten, dass eine Eindringtiefe des Thermometers von mindestens fünf bis maximal 12,5 cm in das Rektum erforderlich ist, da nur in diesem Bereich die Rektaltemperatur konstant ist (NICHELMANN, 1971). Außerdem ist in der Regel eine Fixierung der Tiere notwendig. Zudem reagiert die Körpertemperatur nicht so zügig auf eine Änderung der Umgebungsbedingungen wie beispielsweise die Atemfrequenz und es kommt zu einem verzögerten Anstieg, der sich vor allem gegen Nachmittag und Abend zeigt. BROWN-BRANDL et al. (2005) sprechen hier von einer Zeitverzögerung von einer bis fünf Stunden.

2.3. Herzfrequenz

Die mittlere Herzfrequenz der Kühe lag während der Thermoneutralen Phase mit 78 bpm innerhalb des von JANZEKOVIC et al. (2010) und BUCK et al. (2012) angegebenen physiologischen Bereichs von 50 - 80 bpm. Im Unterschied dazu überschritt die mittlere Herzfrequenz der Tiere während der Hitzestressphase mit und ohne Ventilatoreinsatz die obere physiologische Grenze mit 84 bpm (HSo) bzw. 82 bpm (HSm). Die Ausreißer nach oben, mit bis zu 160 bpm in allen drei Untersuchungsphasen, sind vermutlich kurzzeitigen Stresssituationen für das Tier beispielsweise durch Rangkämpfe an der Kraftfutterstation oder vor dem Melkroboter sowie der täglichen Manipulation der Kühe bei der Überprüfung der Herzfrequenzgurte und der rektalen Entnahme der Kotproben geschuldet.

Der signifikante Unterschied zwischen der Hitzestressphase ohne Ventilatoren und der mit Ventilation zeigte, dass der Einsatz von Ventilatoren bereits bei mäßigem Hitzestress die Belastung für das Tier senken kann. Dies ist umso wichtiger, da aufgrund der positiven Korrelation mit steigendem THI oder steigender Lufttemperatur die Herzfrequenz ansteigen wird und von einer höheren Belastung für das Tier ausgegangen werden kann.

Der Rückgang der Herzfrequenz während der späten Laktation im Gegensatz zum frühen und mittleren Laktationsstadium deckt sich mit der Aussage von JANZEKOVIC et al. (2010), der bei einer höheren Milchleistung von einer höheren Stoffwechselleistung und dadurch bedingt einer höheren Herzfrequenz spricht.

2.4. Kotkortisol-Konzentration

Da die Kotproben am Morgen, zwischen 07:00 und 09:00 Uhr des jeweils letzten Tages einer Untersuchungsphase entnommen wurden und die Passagezeit der Ingesta eine Verzögerung von etwa 12 Stunden aufweist (LEXEN et al., 2008; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2010; PALME, 2012), können somit Rückschlüsse auf die Belastung der Tiere am Vorabend zwischen ca. 19:00 und 21:00 Uhr gezogen werden. Es wurde nur eine Probe je Phase gezogen, da zur Darstellung von chronischem Stress Einzelproben ausreichend sind (PALME und MÖSTL, 1996; MÖSTL und PALME, 2002; PALME et al., 2002).

Betrachtet man die Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot der Ferkeltiere, so zeigt sich, dass die Stressbelastung in der Thermoneutralen Phase mit durchschnittlichen Werten von 16,1 ng FCM/g Kot signifikant niedriger lag als während der beiden Hitzestressphasen mit 44,3 ng FCM/g Kot (HSo) bzw. 24,6 ng FCM/g Kot (HSm) im Mittel. Somit liegt gerade in den Abendstunden, wenn es zu einem starken Anstieg des THI auf über 70 Punkte während der Hitzestressphasen kommt (Abbildung 27), eine deutliche Stressbelastung der Tiere vor. Dies zeigt sich auch in der positiven Korrelation der Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot mit dem THI und der Lufttemperatur im Stall und im Außenbereich. So kann bei steigendem THI und steigender Lufttemperatur von einer höheren Konzentration an FCM ausgegangen werden und somit einer steigen-

den Stressbelastung für die Kühe.

Die etwas höher liegenden Konzentrationen an FCM während der Hitzestressphase ohne Ventilation im Gegensatz zum Einsatz der Ventilatoren zeigt, dass die Stressbelastung durch den Einsatz von Ventilatoren vermindert werden kann, auch wenn dieser Unterschied hier nicht signifikant war.

Da die Basalwerte der fäkalen Kortisolmetaboliten beim Rind in der Literatur eine große Streuung aufweisen (PALME et al., 1999; PESENHOFER et al., 2006), kann davon ausgegangen werden, dass sie sehr stark vom individuellen Empfinden eines Tieres abhängig sind und auch die Konzentrationen der FCM bei Stress tierindividuell stärker schwanken. Dies würde die starken Ausreißer nach oben, gerade in den Hitzestressphasen, erklären. Zudem können einzelne Tiere zusätzlich unter kurzzeitigem Stress, beispielsweise durch Rangkämpfe, gelitten haben.

Die positive Korrelation der Kortisolmetaboliten im Kot der Rinder mit den übrigen physiologischen Parametern Atemfrequenz, Körpertemperatur und Herzfrequenz zeigt, dass eine steigende Hitzestressbelastung der Tiere eine steigende Atemfrequenz, Körpertemperatur und Herzfrequenz zur Folge hat. Somit sind die praktisch einsetzbaren Parameter Atemfrequenz und Körpertemperatur gut geeignet, um die Hitzestressbelastung von Rindern in der Praxis abzubilden.

3. Leistungs – Parameter

3.1. Milchleistung

Die Milchleistung in dieser Untersuchung lag während der Thermoneutralen Phase signifikant höher als während der beiden Hitzestressphasen. Jedoch lag der mittlere Rückgang der Milchleistung mit 0,7 kg/d (HSo) bzw. 0,6 kg/d (HSm) im Vergleich zur Thermoneutralen Phase unter den in der Literatur angegebenen Werten. Hier wäre mit einem Absinken der Milchleistung um 0,32 kg pro Tag pro erhöhter THI Einheit (WEST, 2003) zu rechnen gewesen. Dies hätte einer für die Hitzestressphase ohne Ventilatoren um 5,1 kg/d und für die Hitzestressphase mit Ventilatoren einer um 4,8 kg/d niedrigeren Milchleistung im Vergleich zur Thermoneutralen

Phase entsprochen.

Grund hierfür könnte zum einen sein, dass während der Untersuchung kein spürbarer Rückgang der Grundfutteraufnahme stattgefunden hat und den Tieren somit ausreichend Energie in den Phasen, in denen die Milchleistung erfasst wurde, zur Verfügung stand. Zudem ist mit einem Absinken der Milchmenge erst mit einer Zeitverzögerung von bis zu drei Tagen (COLLIER und ZIMBELMAN, 2005; HEIDENREICH et al., 2005; ZIMBELMAN et al., 2009) zu rechnen, so dass die Untersuchungszeiträume länger hätten gewählt werden müssen um einen Effekt zu erhalten. Ein weiterer Grund für den fehlenden Rückgang der Milchleistung könnte in der Auswahl der Hitzestressphasen gelegen haben, da hier bewusst auf Extremsituationen verzichtet worden war und die Untersuchungen nur unter milden bis mäßigen Hitzestressbedingungen stattgefunden haben. Zudem kam es während der Nachtstunden zu einem Rückgang des THI im Stall, so dass die Tiere hier eine Erholungsphase zur Verfügung hatten. Bei stärkerer Belastung wäre vermutlich ein deutlicherer Effekt in der Milchleistung aufgetreten. Des Weiteren ist zu beachten, dass die bisher publizierten Rückgänge der Milchleistung alle bei Kühen der Rasse Holstein-Friesian oder Jersey gemessen wurden. In unserer Untersuchung wurden hingegen Fleckviehkühe betrachtet, die, aufgrund ihrer Eignung als Zweinutzungsrasse, meist eine geringere Milchleistung als Holstein-Friesian Kühe aufweisen. Somit könnte der tatsächliche Rückgang der Milchleistung bei Fleckviehkühen geringer ausfallen, da ihre Basismilchproduktion auf einem niedrigeren Level liegt. Zudem könnten sie aufgrund ihrer geringeren Stoffwechselleistung gegenüber den Hochleistungsmilchrassen eine bessere Wärmetoleranz aufweisen.

3.2. Grundfutteraufnahme

Bei der Grundfutteraufnahme zeigte sich kein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Phasen. Bei der Trockenmasseaufnahme während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren war zwar ein Rückgang zu erkennen, was einen Hinweis auf eine beginnende Hitzestressbelastung durch die Kühe geben könnte, die auf diesem Wege versuchen ihre körpereigene Wärmeproduktion zu senken, dieser war jedoch nicht signifikant. Die negative Korrelation zwischen THI und Grundfutteraufnahme zeigt, dass

die Tiere bei steigendem THI weniger Grundfutter aufnehmen, was sich mit den Aussagen von ZIMBELMAN et al. (2009) deckt. Allerdings war diese Korrelation im vorliegenden Fall nur sehr gering ausgeprägt. Laut ZIMBELMAN (2008) hätte bereits bei mäßigem Hitzestress ein Rückgang der Futteraufnahme zu erkennen sein sollen. Auch hier lässt sich wieder, wie bei der Milchleistung, vermuten, dass die Untersuchungszeiträume zu kurz waren, um einen Effekt herauszustellen, da auch die Reduzierung der Futteraufnahme erst mit einer Verzögerungszeit von zwei Tagen nach einem Anstieg des Tagesdurchschnitts-THI (ZIMBELMAN et al., 2009; COLLIER et al., 2012) auftritt. Zusätzlich war die Belastung der Tiere trotz milden bis mäßigen Hitzestressbedingungen vermutlich noch nicht ausreichend hoch, um einen Rückgang der Futteraufnahme zu erzielen. Dazu trug auch die Erholungsphase während der Nachtstunden bei. Ein weiterer Aspekt für den nur geringen Rückgang während der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz könnte sein, dass am Futtertisch immer noch ausreichend hohe Luftströmungen vorhanden waren, da sich dieser an der vollständig geöffneten Südseite des Stalles befindet und von dort ungehindert angeströmt werden könnte. Dies würde sich auch mit Aussagen von MAČUHOVÁ et al. (2008) decken, die in ihren Untersuchungen die höchsten Luftströmungsraten direkt an den Stallöffnungen messen konnten, während sie zur Stallmitte hin abnahmen. In wie weit der Fütterungsversuch optiKuh, der im Jahre 2015 parallel im Stall stattfand, einen Einfluss auf die Futteraufnahme hatte, ließ sich leider nicht abklären.

Die Tatsache, dass die Kühe in der Früh lactation signifikant weniger Grundfutter aufnahmen als während der Spätlactation könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese Kühe leistungsabhängig mehr Kraftfutter erhielten als die Spätlaktierenden und somit ein Teil des Grundfutters in der Früh lactation durch das Kraftfutter verdrängt wurde.

Bei Betrachtung des Anteils an Grundfutter-Frischmasse der tagsüber von den Tieren verzehrt wurde, so zeigt, dass in allen drei Untersuchungssituationen mehr als 85 % des Grundfutters tagsüber zwischen 05:00 und 22:00 Uhr verzehrt wurde. Die Verlagerung der Futteraufnahme in die kühleren Abend- und Nachtstunden während einer Belastung durch Hitzestress, wie sie in anderen Arbeiten auftraten (BROWN-BRANDL et al.,

2005; DUSSERT und PIRON, 2012), konnten in unserer Untersuchung nicht bestätigt werden. Grund hierfür könnte sein, dass die Futtervorlage morgens um 05:30 Uhr erfolgte, also das Grundfutter tagsüber frischer war als während der Nachtstunden. Die Daten von SCHINDHELM (2016), die in derselben Herde im Zeitraum März 2014 bis Mai 2015 in einer Untersuchung zur Lahmheitsdetektion ermittelt wurden, zeigten eine anteilige Futteraufnahme von 60 % tagsüber für die gesamte Herde. In wie weit der 2015 gestartete Fütterungsversuch „optiKuh“ einen Einfluss auf diese Daten hatte konnte nicht ermittelt werden.

4. Verhaltensparameter

Die täglichen Liegezeiten der Kühe, als Hinweis auf Verhaltensänderungen, ließen keinen Einfluss der Hitzestressbelastung in dieser Untersuchung erkennen. So lagen die Tiere in der Hitzestressphase ohne Unterstützungskühlung durch die Ventilatoren mehr als während der anderen beiden Phasen. Die geringsten Liegezeiten konnten während der Hitzestressphase mit Ventilatoren beobachtet werden. Allerdings waren die Unterschiede nicht signifikant. Insgesamt lagen die Kühe mit im Schnitt 648 min/d (TN), 676 min/d (HSo) und 604 min/d (HSm) also zwischen etwa zehn und elf Stunden pro Tag. Dies entspricht der in der Literatur angegeben Liegezeit für Kühe, die, je nach Verfasser, zwischen sieben und 14 Stunden pro Tag beträgt (LUTZ, 2000; WILLEN, 2004; RUSHEN et al., 2008; RÜTZ, 2010). Jedoch waren die täglichen Liegezeiten während der hier beobachteten Phasen geringer als die durchschnittliche Liegezeit der Kühe dieser Herde, die SCHINDHELM (2016) in ihrer Untersuchung (März 2014 – Mai 2015) mit 715,6 min/d beobachten konnte. Die optimale Liegezeit für Kühe, die nach LUTZ (2000) und TOBER et al. (2011) für eine bessere Durchblutung des Eutergewebes und einer optimalen Entlastung der Gliedmaßen 12 Stunden pro Tag betragen sollte, konnte nur von Einzeltieren erreicht werden. Ein Rückgang der täglichen Liegezeit bei vermehrter Hitzestressbelastung, wie bei BERMAN (2005) und TOBER et al. (2011) angegeben, konnte in unserer Untersuchung nicht gefunden werden. Auch hier stellt sich wieder die Frage, ob dies aufgrund zu kurzer Untersuchungsintervalle oder zu geringer Hitzestressbelastung mit Erholungsmöglichkeiten während der Nacht nicht gemessen werden konnte.

Die längere tägliche Liegezeit in der Spätlaktation, verglichen mit der Früh- und mittleren Laktation, könnte aufgrund der geringeren täglichen Milchleistung und dem damit einhergehenden selteneren Aufsuchen des AMS auftreten. Sie könnte aber auch ein Hinweis darauf sein, dass die Tiere in der Spätlaktation, aufgrund ihrer geringeren Milchleistung weniger Stoffwechselwärme produzieren, die sie an die Umgebung abgeben müssen (ALBRIGHT und ARAVE, 1997; TUCKER und SCHÜTZ, 2009). Dadurch müssten sie weniger Körperoberfläche zum Wärmeaustausch zur Verfügung stellen und könnten längere Zeit liegen bleiben.

5. Schlussfolgerung

Die Auswahl der Untersuchungsphasen macht deutlich, dass in der Thermoneutralen Phase keine Hitzestressbelastung für die Kühe vorlag. Die beiden Hitzestressphasen wurden so gewählt, dass Bedingungen vorlagen, die eine stabile Wetterlage über mehrere Tage ergaben und die Phasen ähnliche klimatische Bedingungen aufwiesen, um gut miteinander verglichen werden zu können. Um dies zu erreichen, wurde bewusst auf Extremsituationen verzichtet, sondern Bedingungen gewählt, die im unteren Belastungsbereich der Tiere bei Hitzestress lagen. Zudem konnte dadurch gezeigt werden, dass bereits bei Umgebungsbedingungen, die vom Menschen meist noch als angenehm empfunden werden, eine Belastung für die Tiere durch Hitzestress vorlag. Dies zeigt auf, wie wichtig es ist, anhand von Klimawerten die Hitzestresssituation von Kühen zu erfassen und rechtzeitig geeignete Maßnahmen zur Minderung einzusetzen und nicht nach dem eigenen Empfinden des Landwirtes.

Die fehlenden eindeutigen Ergebnisse bei den Leistungs- und Verhaltensparametern sind vermutlich der Tatsache geschuldet, dass die Hitzestressbelastung während der Phasen, trotz eindeutigem physiologischen Belastungsnachweises, noch nicht ausreichend hoch war und die Tiere sich während der kühleren Nachtstunden wieder erholen konnten. Hier würden vermutlich längere Messungen und eine höhere Hitzestressbelastung eindeutiger Ergebnisse liefern.

Insgesamt lässt sich für die Betrachtung der physiologischen Parameter sagen, dass die Tiere bereits unter den in der Untersuchung vorherr-

schenden milden bis mäßigen Hitzestressbedingungen Anzeichen von Hitzestress zeigten. Zudem konnte demonstriert werden, dass der sinnvolle und rechtzeitige Einsatz eines Ventilators bei vergleichbarem THI bzw. Lufttemperatur im Stall eine erkennbare Reduzierung der Stressbelastung für die Kühe bedeutet. Daher kann er nur empfohlen werden. Wichtig dabei ist, dass sich der optimale Einbau der Ventilatoren an den örtlichen Gegebenheiten wie Windrichtung, Stallöffnungen oder Einbauten im Stall orientiert. Des Weiteren sollten die verwendeten Ventilatoren über eine ausreichend hohe Leistung und Wurfweite verfügen und im richtigen Winkel montiert werden, um einen optimalen Wirkungsgrad sicherzustellen. Nach Einbau der Ventilatoren sollten die Einstellungen durch den Einsatz eines Vernebelungsgerätes überprüft und optimiert werden.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen und Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren

Vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung und der von den Experten prognostizierten Zunahme der Häufigkeit von Sommertagen mit Maximaltemperaturen über 25 °C und heißen Tage mit mehr als 30 °C bis zum Jahr 2050, galt es die Hitzestressproblematik bei Rindern näher zu betrachten. Ziel der Arbeit war es, die Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen zu untersuchen und den Effekt einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren darzustellen.

Während der Sommermonate 2014 und 2015 wurden in je drei Untersuchungsphasen physiologische, Leistungs- und Verhaltensparameter von jeweils 24 Fokuskühen der Rasse Fleckvieh erfasst. Die Untersuchungsphasen untergliederten sich in eine Phase unter Thermoneutralen Bedingungen als Kontrolle und zwei Phasen unter Hitzestressbedingungen, davon einmal ohne zusätzliche technische Kühlmaßnahmen und einmal mit dem Einsatz von Ventilatoren. Die Untersuchungen fanden in einem offenen Laufstall mit automatischem Melksystem und Axialventilatoren über den Liegeboxenreihen statt. Die untersuchten physiologischen Parameter umfassten die Atemfrequenz, die Körpertemperatur, die Herzfrequenz und die Bestimmung der Kortisolmetaboliten im Kot. Als Leistungsparameter wurden die Milchleistung und die Grundfutteraufnahme näher betrachtet. Die Erfassung der täglichen Liegezeit der Fokuskühe diente als Verhaltensparameter. Des Weiteren wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Stall und im Außenbereich gemessen und daraus der Temperature-Humidity Index (THI) berechnet. Zusätzlich wurden die Luftströmung im Stall und die Globalstrahlung im Außenbereich aufgezeichnet. Die Ergebnisse wurden zusammengeführt und anschließend statistisch ausgewertet.

Die Klimaparameter Lufttemperatur und THI im Stall korrelierten stark positiv miteinander. Bei den physiologischen Parametern konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen gefunden werden. So zeigten die Tiere während der Hitzestressphasen höhere Atemfrequenzen, eine höhere Körpertemperatur, eine erhöhte Herzfrequenz und eine höhere Konzentration an fäkalen Kortisolmetaboliten als während der Thermoneutralen Phase. Auch während der Hitzestressphase ohne technische Kühlmaßnahmen waren die Werte der Atemfrequenz, der Körpertemperatur und der Herzfrequenz höher als während der Hitzestressphase mit Ventilatoren. Die physiologischen Parameter korrelierten dabei positiv mit der Lufttemperatur bzw. dem THI im Stall. Bei der Milchleistung konnte eine signifikante, geringfügig höhere tägliche Milchmenge der Kühe während der Thermoneutralen Phase im Gegensatz zu den Hitzestressphasen gefunden werden. Die tägliche Grundfutteraufnahme sowie die tägliche Liegezeit der Fokuskühe zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsphasen.

Aufgrund der signifikanten Unterschiede bei den physiologischen Parametern zwischen der Thermoneutralen Phase und den Hitzestressphasen lässt sich folgern, dass die Tiere während der Hitzestressphasen, bei den gegebenen klimatischen Bedingungen, unter Hitzestress litten. Die fehlenden eindeutigen Ergebnisse bei den Leistungs- und Verhaltensparametern waren vermutlich der nicht ausreichend hohen Hitzestressbelastung sowie zu kurzen Untersuchungsphasen geschuldet. Die signifikanten Unterschiede der Atemfrequenz, der Körpertemperatur und der Herzfrequenz zwischen den beiden Hitzestressphasen mit und ohne Ventilatoreinsatz zeigten, dass durch eine geeignete und rechtzeitige Unterstützungslüftung in Form von Ventilatoren eine Reduzierung der Hitzestressbelastung zu erreichen ist. Des Weiteren zeigte die enge Korrelation von Lufttemperatur und THI im Stall, dass der alleinige Einsatz der Lufttemperatur unter Praxisbedingungen zur Beurteilung der Hitzestressbelastung ausreichend scheint.

VIII. SUMMARY

Effects of heat stress on Simmental dairy cows under climatic conditions in Bavaria and influences of improved cooling with fans

Due to climate warming and the predicted increase in frequency of 'summer days' with maximum temperature above 25 °C and 'hot days' with maximum temperature above 30 °C until 2050, the problem of heat stress in cattle must be taken into account. The aim of the present research was to analyse the effects of heat stress on Simmental dairy cows and to show the influences of an improved cooling with fans.

During the summer months in 2014 and 2015 physiological, performance and behavioural parameters were collected during three sample periods each with 24 Simmental dairy cows. These sample periods were divided into one period with thermoneutral conditions for verification purposes and two periods with heat stress conditions. The two heat stress periods were further divided into one period without technical cooling facilities and one period with the additional use of fans. The experiments took place in an open free-stall barn equipped with an automatic milking system and axial fans above the cubicles. The analysed physiological parameters were the respiratory rate, the body temperature, the heart rate and the faecal cortisol metabolites. In terms of performance parameters milk yield and forage intake were considered. The daily lying time was recorded as a behavioural parameter. Furthermore the air temperature and the relative humidity in and outside the barn, representing climate parameters, were measured and the temperature-humidity index (THI) derived. In addition, the airflow in the barn and the outside global solar radiation were recorded. The various data sources were triangulated and then statistically evaluated.

The climate parameters air temperature and THI in the barn were highly correlated. Significant differences between the three sample periods were found for the physiological parameters. For example, the cattle showed higher respiratory rates, higher body temperatures, higher heart rates and

higher concentrations of faecal cortisol metabolites during the periods of heat stress compared to the thermoneutral period. Also the results for respiratory rate, body temperature and heart rate were higher during the heat stress period without technical cooling facilities compared to the heat stress period with the additional use of fans. All physiological parameters were positively correlated to air temperature and THI in the barn. For the milk yield a small but significantly higher daily milk yield was found during the thermoneutral period compared to the periods of heat stress. The daily forage intake and the daily lying time showed no significant differences between the three sample periods.

Due to the significant differences between the thermoneutral period and the heat stress periods for the physiological parameters it could be concluded that the animals suffer from heat stress during the periods of heat stress under the prevailing climatic circumstances. The lack of distinct results of the performance and behavioural parameters were due to an only slight load of heat stress and too short periods of the experiments. The significant difference of respiratory rate, body temperature and heart rate between the two different periods of heat stress with and without cooling facilities showed that a reduction of heat stress can be achieved by a proper and timely cooling with fans. Furthermore the high correlation between air temperature and THI in the barn showed that in practice the exclusive use of the air temperature seems to be enough for the evaluation of heat stress.

IX. LITERATURVERZEICHNIS

ALAM M.G.S. und DOBSON H. (1986): *Effect of various veterinary procedures on plasma concentrations of cortisol, luteinising hormone and prostaglandin F₂, a metabolite in the cow*; Veterinary Record 118; S. 7 – 10.

ALBRIGHT J.L. (1987): *Dairy Animal Welfare: Current and Needed Research*; Journal of Dairy Science 70; S. 2711 – 2731.

ALBRIGHT J.L. und ARAVE C.W. (1997): *The behavior of cattle*; CAB INTERNATIONAL Wallingford, UK, ISBN 0851991963; S. 154 – 157.

ARMSTRONG D.V. (1994): *Heat Stress Interaction with Shade and Cooling*; Journal of Dairy Science 77; S. 2044 - 2050

AUERNHAMMER R. (1995): *Untersuchungen über die Eignung verschiedener Körperstellen zur automatisierten Messung der Körpertemperatur beim Rind*; Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität München, Veterinärmedizinische Fakultät.

BAUMGARTNER W. (2009): *Allgemeiner klinischer Untersuchungsgang*; In: Baumgartner W. (Hrsg.): *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere*; Parey Verlag, Stuttgart; S. 43 – 195.

BERMAN A., FOLMAN Y., KAIM M., MAMEN M., HERZ Z., WOLFENSON D., ARIELI A. und GRABER Y. (1985): *Upper Critical Temperatures and Forced Ventilation Effects for High-Yielding Dairy Cows in a Subtropical Climate*; Journal of Dairy Science 68; S. 1488 – 1495.

BERMAN A. (2005): *Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows*; Journal of Animal Science 83; S. 1377 – 1384.

BERMAN A. und HOROVITZ T. (2012): *Radiant heat loss, an unexploited path for heat stress reduction in shaded cattle*; Journal of Dairy Science 95; S. 3021 – 3031.

BERRY I.L., SHANKLIN M.D. und JOHNSON H.D. (1964): *Dairy Shelter Design Based on Milk Production Decline as Affected by Temperature and Humidity*; Transactions of the ASAE 7; S. 329 – 331.

BIANCA W. (1962): *Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle*; Nature 195; S. 251 – 252.

BIANCA W. (1968): *Thermoregulation*; In: Hafez E.S.E. (Hrsg.): *Adaption of Domestic Animals*; Lea und Febiger, Philadelphia; S. 97 – 118.

BLUM J.W. (2003): *Bioklimatologie der Haustiere*; Vorlesungsskript Tierhaltung, Univ. Bern, 4. Semester.

BRADÉ W. (2013): *Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses*; Berichte über Landwirtschaft, Band 91, Ausgabe 3.

BROOM D.M. (1986): *Indicators of poor welfare*; British Veterinary Journal (142); S. 524 – 526.

BROOM D.M. (1991): *Animal welfare: Concepts and Measurement*; Journal of Animal Science (69); S. 4167 – 4175.

BROOM D.M. und JOHNSON K.G. (1993): *Stress*; In: Broom D.M., Johnson K.G. (Hrsg.): *Stress and Animal Welfare*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands; S. 57 – 72.

BROWN-BRANDL T.M., EIGENBERG R.A., NIENABER J.A. und HAHN G.L. (2005): *Dynamic Response Indicators of Heat Stress in Shaded and Non-shaded Feedlot Cattle, Part 1: Analyses of Indicators*; Biosystems Engineering 90 (4), S. 451 – 456.

BUCK M., WECHSLER B., GYAX L., STEINER B., STEINER A. und FRIEDLI K. (2012): *Wie reagieren Kühe auf den Entmistungsschieber – Untersuchungen zum Verhalten und zur Herzaktivität*; in ART-Bericht 750, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Tänikon, April 2012; S. 1 – 7.

BUFFINGTON D.E., COLLAZO-AROCHO A., CANTON G.H., PITT D., THATCHER W.W. und COLLIER R.J. (1981): *Black Globe – Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows*; Transaction of the ASAE 24 (3); S. 711 – 714.

BURFEIND O., VON KEYSERLINGK M.A.G., WEARY D.M., VEIRA D.M. und HEUWIESER W. (2010): *Short communication: Repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows*; Journal of Dairy Science 93; S. 624 – 627.

BVET (2009): *Stallklimawerte und ihre Messung in der Rinderhaltung*; Fachinformation Tierschutz, Nr. 6.5., Hrsg.: Bundesamt für Veterinärwesen, Schweiz.

CALEGARI F. und FRAZZI E. (2002): *Circadian trend of vaginal temperature of Friesian cows during summer season*; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 29; S. 143 – 148.

CARROLL J.A. und BURDICK SANCHEZ N.C. (2013): *The Physiology of Stress and Effects on Immune Health in Ruminants*; In: Proceedings of the 28th Annual Southwest Nutrition and Management Conference, Arizona; S. 35 – 44.

CIGR-Bericht (2006): *Animal Housing in Hot Climates: A multidisciplinary view*. Hrsg.: CIGR Section II Working Group in cooperation with EurAgEng, Campinas, Brasilien.

COLLIER R.J. und ZIMBELMAN R.B. (2007): *Heat Stress Effects on Cattle: What We Know and What We Don't Know*; In: Proceedings of the 22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference, Arizona; S. 76 – 83.

COLLIER R.J., HALL L.W., RUNGRUANG S. und ZIMBELMAN R.B. (2012): *Quantifying Heat Stress and Its Impact on Metabolism and Performance*; In: Proceedings of the 23rd Florida Ruminant Nutrition Symposium, University of Florida, Gainesville; S. 74 – 83; <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2012/6CollierRNS2012a.pdf> (Stand: 07.03.2017).

DANTZER R. (1993): *Research Perspectives in Farm Animals: The Concept of Stress*; Journal of Agricultural and Environmental Ethics 6 (Suppl. 2); S. 86 – 92.

DIKMEN S. und HANSEN P.J. (2009): *Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?*; Journal of Dairy Science 92; S. 109 – 116.

DUSSERT L. und PIRON A. (2012): *Live yeast could help reduce the impact of heat stress on dairy production*; <http://en.engormix.com/MA-dairy-cattle/management/articles/live-yeast-could-help-t2242/124-p0.htm> (Stand: 27.04.2015).

EIGENBERG R.A., HAHN G.L., NIENABER J.A., BROWN-BRANDL T.M. und SPIERS D.E. (2000): *Development of a new respiration rate monitor for cattle*; Transactions of the ASAE 43 (3); S. 723 - 728

EKESBO I. (1984): *Methoden der Beurteilung von Umwelteinflüssen auf Nutztiere unter besonderer Berücksichtigung der Tiergesundheit und des Tierschutzes*; Wiener Tierärztliche Monatsschrift, 71. Jahrgang, Heft 6/7; S. 186 – 191.

EL-GOUL W. und HOFMANN W. (2002): *Einfluss von Klauenkrankheiten verschiedenen Grades auf die Höhe der messbaren Stressreaktion unter besonderer Berücksichtigung von Cortisol und Laktat im Blutserum beim Rind*; Der Praktische Tierarzt 83 (4); S. 354 – 361.

FEIST M. (2004): *Untersuchungen zum Schmerzausdrucksverhalten bei Kühen nach Klauenoperationen*; Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität München, Veterinärmedizinische Fakultät.

FIEDLER M., HOFFMANN G., LOEBSIN C., BERG W., VON BONRUTZKI K, AMMON C. und AMON T. (2012): *Luftgeschwindigkeit und Hitzebelastung im Milchviehstall – Auswirkungen auf das Tierwohl*; Landtechnik 67 (6); S. 421 – 424.

FIEGUTH L., NIMER K., LOCHER L. und REHAGE J. (2013): *Evaluierung eines telemetrischen Herzfrequenzmonitors zur Stresserfassung bei Milchkühen*; Abstract der 10. Buiatrik Tagung 2013; Klinik für Wiederkäuer LMU München.

FLAMENBAUM I., WOLFENSON D., MAMEN M. und BERMAN A. (1986): *Cooling Dairy Cattle by a Combination of Sprinkling and Forced Ventilation and Its Implementation in the Shelter System*; Journal of Dairy Science 69; S. 3140 – 3147.

FREIBERGER, F. (2012): *Tierschutzrelevante Anforderungen an das Stallklima von Rinderstallungen*; In: Tagungsband Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein; S. 23 – 26.

GAUGHAN J.B., MADER T.L., HOLT S.M. und LISLE A. (2008): *A new heat load index for feedlot cattle*; Journal of Animal Science 86; S. 226 – 234.

GEISCHEDER S., HAIDN B., PEIS R., HARMS J. und MISHA E. (2015): *Erprobung des Pedometersystems „Track a Cow“ der Firma ENGS zur Bestimmung der Liegezeiten bei Milchkühen*; In KTBL (Hrsg.): Tagungsband 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung; S. 194 – 199.

GEORG H., UDE G., SCHWALM A. und WENDEREL B. (2009): *Untersuchung von Injektaten zur elektronischen Tierkennzeichnung mit Temperatursensoren und Überprüfung geeigneter Injektionsorte bei Bullenkälbern*; Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research 4 (59): S. 287 – 294.

HAGEN K., LANGBEIN J., SCHMIED C., LEXER D. und WAIBLINGER S. (2005): *Heart rate variability in dairy cows – influences of breed and milking systems*; Physiology and Behavior 85; S. 195 – 204.

HEIDENREICH T., BÜSCHER W. und CIELEJEWSKI H. (2005): *Vermeidung von Wärmebelastung für Milchkühe*; In: DLG-Merkblatt 336; Hrsg.: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt a. Main.

HILLMAN P.E., LEE C.N., CARPENTER J.R., BAEK K.S. und PARKHURST A. (2001): *Impact of hair color on thermoregulation of dairy cows to direct sunlight*; ASAE Paper No. 014031.

HOFFMANN G., SCHMIDT M., AMMON C., ROSE-MEIERHÖFER S., BURFEIND O., HEUWIESER W. und BERG W. (2013): *Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera*; Veterinary Research Communications 37; S. 91 – 99.

HUBER J. (1996): *Amelioration of Heat Stress in Dairy Cattle*. In: Phillips C. (Hrsg.): Progress in Dairy Science; CAB International, Wallingford, UK; S. 211 - 243.

HUZZEY J.M., NYDAM D.V., OSPINA P.A. und OVERTONE T.R. (2013): *Predicting Transition Cow Health and Performance – Use of Blood and Fecal Biomarkers for Herd-Level Evaluation and Diagnostics*; In Proceedings of the 28th Annual Southwest Nutrition and Management Conference, Tempe, Arizona; S. 45 – 56.

JANZEKOVIC M., VINDIS P., STAJNKO D. und BRUS M. (2010): *Polar Sport Tester for Cattle Heart Rate Measurements*; In: Advanced Knowledge Application in Practice, Igor Fuerstner (Ed.), ISBN: 978-953-307-141-1, InTech; Available from: <http://intechopen.com/books/advanced-knowledge-application-in->

[practice/polar-sport-tester-for-cattle-heart-rate-measurements](#)
(Stand 13.12.2016).

JENSEN K.H., HANSEN S.W. und PEDERSEN L.J. (1996): *The Effect of Long-term Stress on the Hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical Axis and the Role of the Stressor*; Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science Supplementum 27; S. 40 – 45.

JENTSCH W., DERNO M. und WEIHER O. (2001): *Wärmeabgabe der Milchkühe in Abhängigkeit von der Leistung – eine Studie*; Archiv Tierzucht 44; S. 599 – 610.

JESSEN C. (2000): *Wärmebilanz und Thermoregulation*; In: von Engelhardt W., Breves G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere, Enke Verlag, Stuttgart; S. 446 – 460.

JESSEN C. (2005): *Temperatur, Adaption und Regulation*; In: Penzlin H. (Hrsg.): Lehrbuch der Tierphysiologie, Elsevier Verlag, München; S. 445 – 474.

JOHNSON H.D. und VANJONACK W.J. (1976): *Effects of Environmental and Other Stressors on Blood Hormone Patterns in Lactating Animals*; Journal of Dairy Science 59 (9); S. 1603 – 1617.

JONES D. und BROWN-BRANDL T.M. (2013): *Characterizing Individual Animal Response to Environmental Changes*; In: Tagungsband 6th Conference on Precision Livestock Farming, S. 953 – 963.

KAUFMANN C. und THUN R. (1998): *Einfluß von akutem Streß auf die Sekretion von Cortisol und Progesteron beim Rind*; Tierärztliche Umschau 53 (7); S. 403 – 409.

KECK M., ZÄHNER M. und HAUSER R. (2004): *Minimalställe für Kühe bewähren sich*; In: FAT-Bericht 620; Hrsg: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Ettenhausen, Schweiz.

KLEIN, H.G.F. (1984): *Auswirkungen einer Temperaturbelastung während der Dauer der ersten Laktation auf Leistung und Thermoregulation bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte*; Dissertation Technische Universität Berlin.

KLIMABERICHT BAYERN (2012): *Der Klimawandel in Bayern – Auswertung regionaler Klimaprojektionen*; Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

KLINDTWORTH M., KAMANN B., KLINDTWORTH K., WENDL G. und KRAETZL W.-D. (2002): *Injectable transponders with integrated temperature-sensors for automatic health monitoring in calf rearing*; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 29; S. 136 – 142.

KNIERIM U. (1998): *Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Tiergerechtheit*; In: KTBL-Schrift 377, Beurteilung der Tierge-

rechtheit von Haltungssystemen; Landwirtschaftsverlag Münster; S. 40 – 50.

KNIERIM U. und WINCKLER C. (2009): *Möglichkeiten und Probleme der Anwendung tierbezogener Messgrößen bei der Beurteilung der Tiergerechtheit auf landwirtschaftlichen Betrieben – Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Projekt Welfare Quality®*; In: KTBL-Schrift 479, Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2009; Landwirtschaftsverlag Münster; S. 74 – 84.

KRAMER A., HAIDN B. und SCHÖN H. (1999): *Energieströme beim liegenden Rind – Einflüsse der Liegeflächen*; In: Tagungsband 4. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“; S. 141 - 146.

LEFCOURT A.M., BITMAN J., KAHL S. und WOOD D.L. (1993): *Circadian and Ultradian Rhythms of Peripheral Cortisol Concentrations in Lactating Dairy Cows*; Journal of Dairy Science 76, S. 2607 – 2612.

LEFCOURT A.M., EREZ B., VARNER M.A., BARFIELD R. und TASCH U. (1999): *A Noninvasive Radiotelemetry system to Monitor Heart Rate for Assessing Stress Responses of Bovines*; Journal of Dairy Science 82; S. 1179 – 1187.

LEXEN E., EL-BAHR S.M., SOMMERFELD-STUR I., PALME R. und MÖSTL E. (2008): *Monitoring the adrenocortical response to disturbances in sheep by measuring glucocorticoid metabolites in the faeces*; Wiener Tierärztliche Monatsschrift 95; S. 64 – 71.

LOEBSIN C., TOBER O., FIEDLER M. und SCHRÖTER K. (2012): *Hitzestress bei Milchrindern und Möglichkeiten der Minderung*; Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 49, S. 64 – 72.

LUTZ B. (2000): *Kuhkomfort als Voraussetzung für hohe Leistungen (Stallklima, Haltung, Bewegung)*; In: Tagungsband 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein; S. 27 – 30.

LYHS L. (1971): *Grundlagen der Thermoregulation und des Wärmehaushaltes*; In: Lyhs L. (Hrsg.), Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere; Gustav Fischer Verlag, Jena; S. 13 – 36.

MAČUHOVÁ J., ENDERS S., PEIS R., GUTERMAN S., FREIBERGER M. und HAIDN B. (2008): *Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh*; Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ISSN 1611-4159.

MADER T.L., DAVIS M.S. und BROWN-BRANDL T. (2006): *Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle*; Journal of Animal Science 84; S. 712 – 719.

MOBERG G.P. (1985): *Biological Response to Stress: Key to Assessment of Animal Well-Being?*; In: Moberg G.P. (Hrsg.), Animal Stress; Springer-

Verlag, New York; S. 27 – 49.

MÖSTL E. und PALME R. (2002): *Hormones as indicators of stress*; Domestic Animal Endocrinology 23; S. 67 – 74.

MOHR E., LANGBEIN J. und NÜRNBERG G. (2002): *Heart rate variability – A noninvasive approach to measure stress in calves and cows*; Physiology and Behavior 75; S. 251 – 259.

MORRISON S.R. (1983): Ruminant Heat Stress: Effect on Production and Means of Alleviation; Journal of Animal Science 57; S.1594 – 1600.

NICHELMANN M. (1971): *Der Wärmehaushalt beim Rind*; In: Lyhs L. (Hrsg.), *Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere*; Gustav Fischer Verlag, Jena; S. 37 – 103.

NRC (1971): *A Guide to Environmental Research on Animals*; Hrsg.: National Academy of Sciences, Washington DC.

PACHE S., HÖRIG O., RÖßNER S. und BERGFELD U. (2005): *Vergleichende Untersuchungen zur Thermoregulation von Hochleistungskühen im Leichtbau- und Massiv-Stall*; Vortrag auf der DGfZ Tagung in Berlin, 21./22.09.2005.

PALME R. und MÖSTL E. (1996): *Measurement of cortisol metabolites in faeces of sheep as a parameter of Cortisol concentration in blood*; In: Proceedings of the 1st International Symposium on Physiology and Ethology of Wild and Zoo Animals, Berlin; Suppl. II; S. 192 – 197.

PALME R., ROBIA CH., MESSMANN S., HOFER J. und MÖSTL E. (1999): *Measurement of faecal cortisol metabolites in ruminants: a non-invasive parameter of adrenocortical function*; Wiener Tierärztliche Monatsschrift 86; S. 237 – 241.

PALME R. (2012): *Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals*; Animal Welfare 21; S. 331 – 337.

PALME R., TOUMA C., ARIAS N., DOMINCHIN M.F. und LEPSCHY M. (2013): *Steroid extraction: Get the best out of faecal samples*; Wiener Tierärztliche Monatsschrift 100; S. 238 – 246.

PESENHOFER G., PALME R., PESENHOFER R.M. und KOFLER J. (2006): *Einfluss der funktionellen Klauenpflege bei Milchrindern auf die Konzentration der Kortisolmetaboliten im Kot – Vergleich Kippstand mit Durchtreibestand*; In: Proceedings zur 4. Fortbildungstagung „Der Wiederkäuer und seine Probleme“, Wien; S. 99 – 100.

RÖßNER S., PACHE S., HÖRING O., GEIDEL S. und BERGFELD U. (2005): *Ergebnisse zu methodischen Untersuchungen zur Bestimmung der Radiation von Milchkühen*; DGfZ, Veröffentlichung zur Vortragstagung am 21./22. September 2005, Berlin.

ROUHA-MÜLLEDER C., PALME R. und WAIBLINGER S. (2010): *Erhe-*

bungen zur Tiergerechtheit in 80 Milchkuhbetrieben mit Boxenlaufställen – Tiergesundheit und andere tierbezogene Parameter, Wiener Tierärztliche Monatsschrift 97; S. 231 – 241.

RÜTZ A. (2010): *Untersuchung verschiedener Parameter auf ihre Eignung zur Bewertung der Tiergerechtheit von Laufställen für Milchkühe im Rahmen eines On-farm welfare assessment*; Dissertation Ludwig-Maximilians Universität München, Veterinärmedizinische Fakultät.

RUSHEN J., DE PASSILLÉ A.M., VON KEYSERLINGK M.AG. und WEARY D.M. (2008): *The welfare of cattle*; Springer Verlag; S. 142 – 180.

SANKER C. (2012): *Untersuchungen von klimatischen Einflüssen auf die Gesundheit und Milchleistung von Milchkühen in Niedersachsen*; Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Agrarwissenschaftliche Fakultät.

SCHINDHELM K. (2016): *Automatische Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen mittels Leistungs- und Aktivitätsdatenanalyse*; Dissertation Ludwig-Maximilians Universität München, Veterinärmedizinische Fakultät.

SCHOPFER U. (2002): *Möglichkeiten der praxisnahen Objektivierung von Stressbelastungen bei Milchkühen während des Melkens*; Diplomarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät.

SELYE H. (1936): *A Sydrome produced by Diverse Nocuous Agents*; Nature 138; S. 32.

SHOSHANI E. und HETZRONI A. (2013): *Optimal barn characteristics for high-yielding Holstein cows as derived by a new heat-stress model*; Animal 7 (1); S. 176 – 182.

SHUTT D.A. und FELL L.R. (1985): *Comparison of Total and Free Cortisol in Bovine Serum and Milk or Colostrum*; Journal of Dairy Science 68; S. 1832 – 1834.

SIXT A., STANEK C. und MÖSTL E. (1997): *Der Einfluss verschiedener Methoden der Klauenkorrektur auf den Plasmakortisolspiegel der Milchkühe*; Wiener Tierärztliche Monatsschrift 84; S. 181 – 188.

STÖBER M. (2012): *Kennzeichen, Anamnese, Grundregeln der Untersuchungstechnik, Allgemeine Untersuchung*; In: Dirksen G., Gründer H.-D., Stöber M.: Die klinische Untersuchung des Rindes; Enke Verlag, Stuttgart; S. 75 – 141.

STÖTZEL P. (2016): *Bauliche Einflussfaktoren auf das Temperaturverhalten eines Milchviehstalls*; In: LfL-Information: Möglichkeiten zur Reduzierung von Hitzestress im Milchviehstall.

ST-PIERRE N.R., COBANOV B. und SCHNITKEY G. (2003): *Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries*; Journal of Dairy Science 86 (E. Suppl.); S. E52 – E77.

STRØM J.S. und FEENSTRA A. (1980): *Heat loss from cattle, swine and*

poultry; ASAE Paper No. 80-4021; S. 39 – 46.

TAO S. und DAHL G.E. (2013): *Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves*; Journal of Dairy Science 96 (7); S. 4079 – 4093.

TERMENTEN S.B., BUTLER W.R. und NATZKE R.P. (1981): *Rapidity of Cortisol Transfer between Blood and Milk Following Adrenocorticotropin Injection*; Journal of Dairy Science 64; S. 2197 – 2200.

THOM E.C. (1958): *Cooling degree days*; Air Conditioning, Heating and Ventilation 55; S. 65 – 69.

THOM E.C. (1959): *The discomfort index*; Weatherwise 12; S. 57 – 59.

THOMPSON R.D., WRATTEN F.T., JOHNSTON J.E. und BREIDENSTEIN C.P. (1964): *Solar Radiation Receipt and Physiological Responses of Dairy Animals in the Sun and Under Natural and Artificial Shades*; Journal of Dairy Science 47; S. 301 – 303.

TOBER O., LOEBSIN C. und SANFTLEBEN P. (2011): *Untersuchungen telemetrisch erfassbaren Verhaltens sowie ausgewählter physiologischer und Stallklimaparameter bei Hochleistungskühen unter den Bedingungen moderner Außenklima-Laufstallhaltung zur Schaffung von Managementhilfen und Optimierungen der Tierumwelt*; Forschungsbericht der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern, 1/12.

TOBER O., LOEBSIN C., GRÄBER J. (2012): *Beeinflussung des Verhaltens von Milchkühen durch Wärmebelastung in einem frei gelüfteten Außenklima-Laufstall*; Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern – Heft 49, S. 73 – 79.

TOBER, O. und LOEBSIN, C. (2013): *Das Verhalten von laktierenden Milchkühen in einem Außenklima-Laufstall in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur*; Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 126 (9); S. 388 – 393.

TOBER O, LOEBSIN C. und HOFFMANN G. (2014): *Untersuchungen zur Herzfrequenzvariabilität von Milchkühen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen*; In: Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung; http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Milcherzeugung/Broschuere_Stallklima/BroschreAGStallklima_end.pdf (Stand: 06.12.2016).

TUCKER C. und SCHÜTZ K. (2009): *Behavioral Response to Heat Stress: Dairy Cows Tell the Story*; Pre-Conference Symposium, Southwest Nutrition and Management Conference; http://aq.arizona.edu/ANS/swnmc/Proceedings/2009/02Tucker_09.pdf (Stand: 28.07.2014).

TVT-Merkblatt 100 (2010): *Die Vermeidung von Hitzeschäden bei land-*

wirtschaftlichen Nutztieren (Geflügel, Schweine, Rinder); Hrsg.: Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V., TVT, Bramsche.

VAN LAER E., MOONS C.P.H., SONCK B. und TUYTTENS F.A.M. (2014): *Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates*; *Livestock Science* 159; S. 87 – 101.

VICKERS L.A., BURFEIND O., VON KEYSERLINGK M.A.G., VEIRA D.M., WEARY D.M. und HEUWIESER W. (2010): *Technical note: Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows*; *Journal of Dairy Science* 93; S. 5246 – 5251.

VON BORELL E., LANGBEIN J., DESPRÈS G., HANSEN S., LETERRIER C., MARCHANT-FORDE J., MARCHANT-FORDE R., MINERO M., MOHR E., PRUNIER A., VALANCE D. und VEISSIER I. (2007): *Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review*; *Physiology and Behavior* 92; S. 293 – 316.

WERNER P.C. und GERSTENGARBE F.-W. (2007): *Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten*; In: Endlicher W., Gerstengarbe F.-W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke, Ausblicke*; S. 56 – 59.

WEST J.W. (2003): *Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle*; *Journal of Dairy Science* 86; S. 2131 – 2144.

WILLEN S. (2004): *Tierbezogene Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung – methodische Untersuchungen und Beziehungen zum Haltungssystem*; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.

WILLIAMS J.S., SHRODE R.R., LEIGHTON R.E. und RUPEL I.W. (1960): *A Study of the Influence of Solar Radiation on Physiological Response of Dairy Cattle*; *Journal of Dairy Science* 43; S. 1245 – 1254.

WINCKLER C., LAISTER S., REGNER A.-M., ZENGER K., HESSE N. und KNIERIM U. (2006): *Einfluss des sozialen Leckens auf Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität bei Milchkühen*; In: KTBL-Schrift 448, *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2006*; S. 23 – 29.

WITTE E. (2001): *Herzfrequenzvariabilität beim Pferd in Ruhe und nach Belastung*; Dissertation Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin.

WRENN T.R., BITMAN J. und SYKERS J.F. (1958): *Body temperature variations in dairy cattle during the Estrous Cycle and Pregnancy*; *Journal of Dairy Science* 41 (8); S. 1071 – 1076.

YOON I. (2014): *The impact of heat stress on milk fat depression*; *International Dairy Topics*, Vol. 13 (5); S. 19 – 21.

YOUSEF M.K. (1985): *Stress Physiology in Livestock*; CRC Press, Florida.

ZENTNER E. (2012): *Stallklima in Rinderstallungen: Grundlagen und praktische Erhebungen*; Vortrag auf der 5. Tierärztetagung des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Österreich.

ZIMBELMAN R.B. (2008): *Management Strategies to Reduce Effects of Thermal Stress on Lactating Dairy Cattle*; Dissertation, University of Arizona, Department of Animal Science.

ZIMBELMAN R.B., RHOADS R.P., RHOADS M.L., DUFF G.C., BAUMGARD L.H. und COLLIER R.J. (2009): *A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows*; Vortrag auf der Southwest Nutrition and Management Conference, Savoy, Illinois.

ZIMBELMAN R.B. und COLLIER R.J. (2011): *Feeding Strategies for High-Producing Dairy Cows during Periods of Elevated Heat and Humidity*; In: Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference; S. 111 – 126.

ZINKE S. (1998): *Der Einfluss von Bauchhöhlenoperation, Behandlung im Klauenstand und Transport auf hämatologische und klinische Parameter beim erkrankten Rind*; Disseration Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin.

ZÜHLSDORF A., SPILLER A., GAULY S. und KÜHL S. (2016): *Wie wichtig ist Verbrauchern das Thema Tierschutz? Präferenzen, Verantwortlichkeiten, Handlungskompetenzen und Politikoptionen*; Umfrage der Zühlsdorf + Partner Marketingberatung und des Lehrstuhls „Marketing für Lebensmittel und Agrarprodukte“ der Universität Göttingen im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbandes e.V. (vzbv) Göttingen; <http://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Tierschutz-Umfrage-Ergebnisbericht-vzbv-2016-01.pdf> (Stand 06.03.2017).

X. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG / DECLARATION OATH

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertationschrift selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe

I hereby declare, on oath, that I have written the present dissertation by my own and have not used other than the acknowledged resources and aids.

Freising, den 20.03.2017

Stephanie Geischeder

XI. DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. M. Erhard für die Annahme des Themas und die Korrekturvorschläge.

Herrn Dr. G. Wendl von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft vielen Dank für die Überlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. B. Haidn von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für die fachliche Unterstützung bei der Planung der Untersuchung, Durchführung und Auswertung sowie für die hilfreichen Korrekturvorschläge bei der Verfassung der Arbeit.

Herrn Priv.-Doz. Dr. S. Reese danke ich vielmals für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und die eingebrachten Denkanstöße.

Für die Unterstützung bei der Auswertung der Kotproben sowie die hilfreichen Korrekturvorschläge danke ich Frau Dr. E. Rauch sehr herzlich.

In diesem Zusammenhang gilt ein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. R. Palme und seinem Team, die eine kurzfristige Auswertung der Kotproben ermöglichen haben sowie dem Labor des Lehrstuhls für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung für die Aufbereitung der Proben.

Ein großer Dank gilt Herrn J. Zahner von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für die technische Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchung, die kollegiale Zusammenarbeit und die anregenden Fachgespräche. Herrn R. Peis von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft danke ich für die Datenaufbereitung und die technische Unterstützung während der Untersuchung.

Ein weiterer Dank gilt dem Stallpersonal des Milchviehstalles in Grub, die mich bei der Durchführung der Untersuchung unterstützt haben.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Familie. Meinen Eltern, die mich auf meinem bisherigen Weg vorbehaltlos unterstützt haben, um meine Ziele zu erreichen. Und meinem Mann Rupert, der nicht nur mein Leben bereichert, sondern mich auch im Verlaufe der Arbeit immer wieder motiviert und bestärkt hat.